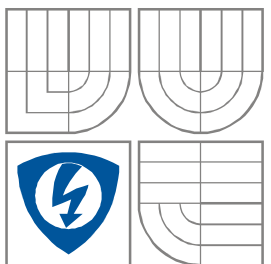


**VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ**  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



**FAKULTA ELEKTROTECHNIKY A KOMUNIKAČNÍCH  
TECHNOLOGIÍ**

**ÚSTAV AUTOMATIZACE A MĚŘICÍ TECHNIKY**

FACULTY OF ELECTRICAL ENGINEERING AND COMMUNICATION  
DEPARTMENT OF CONTROL AND INSTRUMENTATION

# **ANALÝZA DAT Z JEDOUcíHO VOZIDLA**

DATA ANALYSIS FROM MOVING VEHICLE

**DIPLOMOVÁ PRÁCE**  
MASTER'S THESIS

**AUTOR PRÁCE**  
AUTHOR

Bc. Josef Kvapil

**VEDOUcí PRÁCE**  
SUPERVISOR

Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

BRNO 2011



**VYSOKÉ UČENÍ  
TECHNICKÉ V BRNĚ**

**Fakulta elektrotechniky  
a komunikačních technologií**

**Ústav automatizace a měřicí techniky**

# Diplomová práce

magisterský navazující studijní obor  
**Kybernetika, automatizace a měření**

**Student:** Bc. Josef Kvapil

**ID:** 78526

**Ročník:** 2

**Akademický rok:** 2010/2011

**NÁZEV TÉMATU:**

## **Analýza dat z jedoucího vozidla**

### **POKYNY PRO VYPRACOVÁNÍ:**

1. Seznamte se se způsobem vyhodnocování signálů z dopravního simulátoru. Popište strukturu dat shromážděných během jízdy.
2. Vypracujte přehled statistických, pravděpodobnostních a frekvenčních charakteristik, které budou vypovídat o změnách polohy vozidla v jízdním pruhu. Zaměřte se na detekci kritické polohy vozidla vzhledem k šířce jízdního pruhu a sledování změny charakteru jízdy.
3. V programovém prostředí Matlab realizujte zpracování jízdních trajektorií s možností segmentace, výpočtu zvolených charakteristik v libovolném segmentu a vzájemného porovnání.
4. Prezентуйте dosažené výsledky a možné aplikační nasazení. Dbejte pokynů vedoucí práce.

### **DOPORUČENÁ LITERATURA:**

- [1] McBeath, S. Competition car data logging: A practical handbook. 2. vydání. Sparkford: Haynes Publishing, 2003, 158 s. ISBN 1-85960-653-9
- [2] VIK, F. Dynamika motorových vozidel. Nakladatelství VLK, Brno, 2000, ISBN 80-238-5273-6.
- [3] Hanselman, D., Littlefield, B. Mastering MATLAB 7. Pearson Education, Inc. USA 2005. ISBN 0-13-143018-1.
- [4] Zaplatílek, K., Doňar, B. MATLAB - začínáme se signály. BEN-technická literatura, Praha 2006. ISBN 80-7300-200-0

**Termín zadání:** 7.2.2011

**Termín odevzdání:** 23.5.2011

**Vedoucí práce:** Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

**prof. Ing. Pavel Jura, CSc.**  
*Předseda oborové rady*

**UPOZORNĚNÍ:**

Autor diplomové práce nesmí při vytváření diplomové práce porušit autorská práva třetích osob, zejména nesmí zasahovat nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a musí si být plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č.40/2009 Sb.

## **Abstrakt**

Práce se zabývá analýzou dat získaných z dopravního simulátoru. Data tvoří jízdní trajektorie vozidla. Pro jízdní trajektorie jsou navrženy analýzy, ze kterých se získají charakteristické parametry k následné detekci kritické polohy vozidla. Analýzy a vyhodnocení detekování kritické polohy vozidla jsou řešeny programovými skripty v Matlabu.

## **Klíčová slova**

Analýza dat, jízdní trajektorie, Matlab, detekce, kritická poloha, vozidlo.

## **Abstract**

The thesis deals with data analysis obtained from the traffic simulator. The data are from trajectory of vehicle movement. The analysis are suggested to driving trajectory which are obtained from the characteristic parameters for the subsequent detection of the critical vehicle position. Analysis and evaluation of the detection critical vehicle position are solved in the Matlab program scripts.

## **Keywords**

Data analysis, driving trajectory, Matlab, detection, critical position, vehicle.

### **Bibliografická citace:**

KVAPIL, J. *Analýza dat z jedoucího vozidla*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a komunikačních technologií, 2011. 69s. Vedoucí diplomové práce byla Ing. Marie Havlíková, Ph.D.

## **Prohlášení**

„Prohlašuji, že svou diplomovou práci na téma Analýza dat z jedoucího vozidla jsem vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a s použitím odborné literatury a dalších informačních zdrojů, které jsou všechny citovány v práci a uvedeny v seznamu literatury na konci práce.

Jako autor uvedené diplomové práce dále prohlašuji, že v souvislosti s vytvořením této diplomové práce jsem neporušil autorská práva třetích osob, zejména jsem nezasáhl nedovoleným způsobem do cizích autorských práv osobnostních a jsem si plně vědom následků porušení ustanovení § 11 a následujících autorského zákona č. 121/2000 Sb., včetně možných trestněprávních důsledků vyplývajících z ustanovení části druhé, hlavy VI. díl 4 Trestního zákoníku č. 40/2009 Sb.

V Brně dne: **23. května 2011**

.....  
podpis autora

## **Poděkování**

Děkuji vedoucímu diplomové práce Ing. Marii Havlíkové, Ph.D. za účinnou metodickou, pedagogickou a odbornou pomoc a další cenné rady při zpracování mé diplomové práce.

V Brně dne: **23. května 2011**

.....  
podpis autora

## Obsah:

1	Úvod.....	10
2	Struktura dat.....	11
2.1	Získávání dat .....	11
2.2	Formát dat .....	11
2.3	Jízdní trajektorie.....	13
3	Hodnotící charakteristiky trajektorií.....	16
3.1	Charakteristika signálů v časové oblasti .....	16
3.1.1	Pravděpodobnostní přístup .....	16
3.1.2	Statistický přístup .....	17
3.1.3	Korelační přístup.....	18
3.2	Charakteristika signálů ve frekvenční oblasti .....	20
3.2.1	Frekvenční analýza .....	20
3.2.2	Charakteristiky časově frekvenční.....	21
4	Zpracování a detekování kritické polohy.....	23
4.1	Analýza kompletních trajektorií.....	23
4.1.1	Statistické charakteristiky kompletních jízd .....	26
4.1.2	Korelační analýza kompletních jízd .....	30
4.1.3	Spektrální analýza kompletních jízd.....	37
4.2	Segmentace jízd .....	42
4.2.1	Statistické zpracování segmentování .....	43
4.2.2	Korelační zpracování segmentace .....	48
4.2.3	Spektrální zpracování segmentace.....	49
5	Aplikační užití identifikátorů výjezdů .....	50
6	Závěr .....	52
7	Literatura.....	53

## Seznam obrázků:

Obrázek 2.1: Kabina simulátoru na externím pracovišti [5].....	11
Obrázek 2.2: Výřez ze souboru s daty shromážděných během jízd s označením boční polohy vozidla $y_i$ a ujeté vzdálenosti $d$ . ....	12
Obrázek 2.3: Část dat realizované jízdy <i>před</i> a <i>po</i> lineární interpolaci. ....	13
Obrázek 2.4: Trajektorie jízd koncentrovaného $f_{K1}$ a nekoncentrovaného $f_{N1}$ řidiče A. ....	14
Obrázek 2.5: Trajektorie jízd koncentrovaného $g_{K1}$ a nekoncentrovaného $g_{N1}$ řidiče B. ....	15
Obrázek 2.6: Znázornění výjezdů v trajektorii vzniklé vlivem nekoncentrované jízdy. ....	15
Obrázek 4.1: Realizace jízd $f_K$ pro $k=1,2,3$ koncentrovaného řidiče A. ....	24
Obrázek 4.2: Realizace jízd $f_N$ pro $N=1,2,3$ nekoncentrovaného řidiče A. ....	24
Obrázek 4.3: Realizace trajektorií jízd $g_K$ pro $k=1,2,3$ koncentrovaného řidiče B.....	25



Obrázek 4.4: Realizace trajektorií jízd $g_N$ pro $N=1,2,3$ nekoncentrovaného řidiče B. ....	25
Obrázek 4.5: Histogramy pro jednotlivé realizace jízd koncentrovaných a nekoncentrovaných řidičů A a B při počtu tříd $K=15$ . ....	26
Obrázek 4.6: Rozložení zjištěných statistických charakteristických parametrů vybraných trajektorií jízd řidičů A, B. ....	28
Obrázek 4.7: Autokorelační $R_{ff}(\tau)$ a autokovarianční $C_{ff}(\tau)$ funkce koncentrované $f_K$ a nekoncentrované $f_N$ jízdy řidiče A. ....	31
Obrázek 4.8: Autokorelační $R_{ff}(\tau)$ a autokovarianční $C_{ff}(\tau)$ funkce koncentrované $g_K$ a nekoncentrované $g_N$ jízdy řidiče B. ....	31
Obrázek 4.9: Rozložení korelačních koeficientů $\rho_{fg}$ mezi koncentrovanými jízdami $f_K$ , $g_K$ řidičů A a B. ....	32
Obrázek 4.10: Rozložení korelačních koeficientů $\rho_{fg}$ mezi nekoncentrovanými jízdami $f_N$ , $g_N$ řidičů A a B. ....	33
Obrázek 4.11: Rozložení korelačních koeficientů $\rho_{fg}$ mezi nekoncentrovanými $f_N$ , $g_N$ a koncentrovanými $f_K$ , $g_K$ jízdami řidičů A a B. ....	34
Obrázek 4.12: Rozložení maxim korelačních funkcí $\max R_{fg}$ mezi koncentrovanými jízdami $f_K$ , $g_K$ řidičů A a B. ....	35
Obrázek 4.13: Rozložení maxim korelačních funkcí $\max R_{fg}$ mezi nekoncentrovanými jízdami $f_N$ , $g_N$ řidičů A a B. ....	36
Obrázek 4.14: Rozložení maxim korelačních funkcí $\max R_{fg}$ mezi nekoncentrovanými $f_N$ , $g_N$ a koncentrovanými $f_K$ , $g_K$ jízdami řidičů A a B. ....	36
Obrázek 4.15: Trajektorie koncentrované jízdy $f_K$ řidiče A a její amplitudové spektrum $A(k)$ . ....	38
Obrázek 4.16: Trajektorie nekoncentrované jízdy $f_N$ řidiče A a její amplitudové spektrum $A(k)$ ....	38
Obrázek 4.17: Trajektorie koncentrované jízdy řidiče B a její amplitudové spektrum. .	39
Obrázek 4.18: Trajektorie nekoncentrované jízdy řidiče B a její amplitudové spektrum ....	39
Obrázek 4.19: Spektrogram koncentrované trajektorie jízdy $f_K$ řidiče A. ....	41
Obrázek 4.20: Spektrogram nekoncentrované trajektorie jízdy $f_N$ řidiče A. ....	42
Obrázek 4.21: Detekce segmentů s výjezdem pomocí výkonu $P_L$ v nekoncentrované jízdě $f_N$ řidiče B. ....	43
Obrázek 4.22: Numerické statistické charakteristiky pro segmentaci koncentrované $g_K$ a nekoncentrované $g_N$ jízdy řidiče B. ....	44
Obrázek 4.23: Detekce segmentů s výjezdem pomocí Allanovi odchylky $ADEV_y$ v nekoncentrované jízdě $g_{N2}$ řidiče B. ....	45
Obrázek 4.24: Detekce segmentů s výjezdem pomocí míry kladné difference Allanovy odchylky $\Delta(ADEV_y)$ v nekoncentrované jízdě $g_{N2}$ řidiče B. ....	46
Obrázek 4.25: Detekce segmentů s výjezdem pomocí střední hodnoty $\mu_y$ a následně Allanovy odchylky $ADEV_\mu$ v nekoncentrované jízdě $g_{N1}$ řidiče B. ....	47

Obrázek 4.26: Detekce segmentů s výjezdem pomocí maxima vzájemné korelace $\max R_{fg}$ referenčního segmentu bez výjezdu se segmenty nekoncentrované jízdy $f_{N1}$ řidiče A. .	48
Obrázek 4.27: Detekce segmentů s výjezdem pomocí výkonu $P_L$ amplitudových složek frekvenční charakteristiky v nekoncentrované jízdě $f_{N1}$ řidiče A. ....	49
Obrázek 5.1: Záznam softwarového prostředí kde lze srovnávat data segmentů trajektorie jízdy ze závodního okruhu. ....	50

## Seznam tabulek:

Tabulka 2.1: Značení a vlastnosti vybraných analyzovaných jízd. ....	14
Tabulka 4.1: Výsledky statistických charakteristik vybraných trajektorií jízd řidiče A (jízdy v bez výjezdů značeny modře). ....	27
Tabulka 4.2: Výsledky statistických charakteristik vybraných trajektorií jízd řidiče B (jízdy v bez výjezdů značeny modře). ....	28
Tabulka 4.3: Relativní ukazatel změny $\delta_{diff}$ mezi numerickými charakteristikami koncentrovaných a nekoncentrovaných jízd řidičů A a B. ....	29
Tabulka 4.4: Výkon $P_L$ amplitudových spekter $A(k)$ vybraných trajektorií jízd pro zvolený počet složek $L$ spektra. ....	40

# 1 ÚVOD

V dnešní době velkého počtu automobilů, je kladen důraz na bezpečnostní prvky v těchto vozidlech. Jedním z nich je kontrola pozice vozidla ve vztahu k jízdnímu pruhu neboli detekce vyjetí z tohoto pruhu. Kontrola je využitelná při situacích, kdy se řidič plně nevěnuje řízení. Jeho pozornost je upoutána například vnějším děním mimo vozovku nebo se u něj projeví mikrosnánek, což může mít za následek nebezpečné vyjetí z jízdního pruhu. Bezpečnostní prvek tohoto typu je u dnešních vozidel realizován převážně využitím sledováním jízdních pruhů. V případě mé práce se bude jednat o nalezení charakteristických vlastností jízd bez výjezdů a jízd s výjezdy a následně využitím charakteristického parametru označení výjezdu mimo jízdní pruh v jízdě řidiče.

Práce je celkově zaměřena na popis dat realizovaných jízd, získaných z dopravního simulátoru. Následně jsou data podrobena některým zvoleným analýzám pro nalezení vhodného charakteristického parametru. V jízdních trajektoriích řidičů se hledají charakteristické rysy pro nalezení nebezpečného vyjetí vozidla z jízdního pruhu.

V úvodní části práce se věnuji získávání dat ze simulátorů, jejich popisu a rozdělení. Je popsán způsob vzorkování jízd a jejich následná úprava pro možné další zpracování. Pokračuji popisem charakteristik, které lze využít k nalezení ukazatelů, jež by měly vlastnost k vyznačení nebezpečných výjezdů. Charakteristiky jsou založeny na statistických, pravděpodobnostních a frekvenčních způsobech vyhodnocování signálů. Následně jsou navržené charakteristiky testovány na vybraných datech ze simulátoru představujících jízdy několika řidičů. Je diskutována jejich schopnost detekce hledaných výjezdových prvků v průběhu jízdy. Zda jsou vhodné pro charakterizování nekoncentrovaného způsobu jízdy a tím detekování výjezdů. Na trajektoriích vozidel je provedena segmentace a následně jsou charakterizovány jednotlivé segmenty jízdy. Ty jsou následně zpracovány některým z charakteristických parametrů a jsou mezi sebou porovnávány pro nalezení rozdílných hodnot mezi nimi, čímž je možné najít segment obsahující výjezd mimo jízdní pruh. K analýzám je využito programového prostředí Matlab. V programovém prostředí jsou realizovány navržené metody pro detekci výjezdů pomocí zjištěných charakteristik. Výstupem programového prostředí Matlab jsou graficky znázorněné výsledky testovaných metod které lze zkoumat a rozhodovat o jejich aplikačních nasazeních.

Práce si klade za cíl nalezení charakteristických vlastností při jízdě vozidlem, kdy dochází ke kritickému opuštění jízdního pruhu a následně použitím tohoto charakteristického parametru detekovat místo v trajektorii kdy řidič začíná opouštět jízdní pruh vlivem nekoncentrované jízdy.

## 2 STRUKTURA DAT

Pro zpracování je důležité data vhodně rozdělit a uspořádat. Zjistit jaký mají tvar a v jakém formátu jsou uložena. Pro jejich analýzu se musí vhodně upravit pro následné zpracování v programu Matlab.

### 2.1 Získávání dat

Data použitá pro analýzu jsou získána z lehkého dopravního simulátoru z externího pracoviště na ČVUT v Praze, viz obrázek 2.1. Simulátor tvoří část karoserie Škoda Superb [5]. Simulace jízd byla prováděna na souboru řidičů různého stáří a pohlaví. Celkem absolvovalo zkušeni jízdy 13 řidičů. Ujetá trasa na simulátoru činila pro každého řidiče cca. 10km. Každý řidič v průběhu dne prováděl zkušební zátěžové jízdy s časovým odstupem přibližně 2 hodiny. Stupeň únavy se projevoval u řidičů individuálně a převážně se jednalo o koncentrovanou jízdu, kdy nedocházelo k vyjíždění z daného jízdního pruhu. Mezi soubory koncentrovaných jízd řidiče se zcela nepravidelně vyskytla jízda, která nesla známky únavy, a řidič nebyl plně koncentrován. V průběhu této jízdy se vyskytovala místa v jízdní trajektorii, kdy docházelo k vyjetí z jízdního pruhu. Tato místa jsou určena k charakterizování a následné detekci. Sledovanou veličinou byla boční odchylka vozidla od vztažné čáry, která je realizována krajnicí vozovky. Simulace byla provedena jako osamocená jízda bez dalších simulovaných dopravních prostředků. Tím je dána kompletní trajektorie vozidla a je možné vyhodnocovat charakteristiky změn při jízdě vozidla.[14]



Obrázek 2.1: Kabina simulátoru na externím pracovišti [5].

### 2.2 Formát dat

Získaná data ze simulátoru jsou obsažena v souborech typu *.txt*. Ukázka části souboru viz obrázek 2.2. Soubor obsahuje množství dat umístěných do sloupců oddělených mezi sebou tabulátory. Desetinná část čísla je oddělena tečkou „.“. Příklad formátu zpracovávané hodnoty je „1.4158613e+000“, tvořená mantisou a exponentem. Pro analýzu jsou důležitá data tvořící definiční obor funkce a obor hodnot. Definičním oborem jsou hodnoty představující ujetou vzdálenost řidičem. Ujetá vzdálenost vozidla

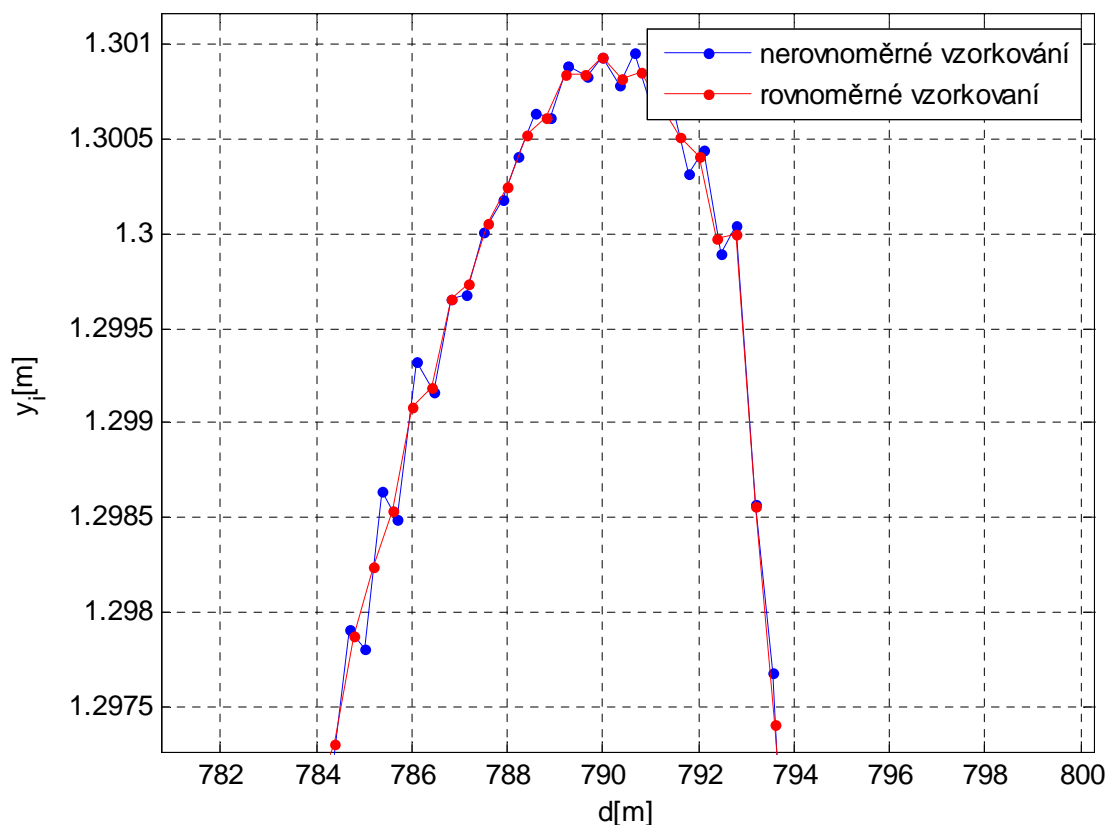
je značena  $d$ , jednotkou jsou metry [m]. Analyzovanou veličinou je boční poloha vzhledem k vztažné krajní čáře označována  $y_i$  v metrech [m]. Během jízdy je shromážděno velké množství dat obsahující kromě mnou použitých dat i záznamy týkající se např. polohy volantu.

	↓ $y_i$ [m]	↓ $d$ [m]				
3.2121000e+004	1.4158613e+000	0.0000000e+000	1.6526000e-002	0.0000000e+000	2.4996387e+003	1.1391733e+002
3.2121000e+004	1.4158374e+000	2.7500000e-004	1.6617000e-002	0.0000000e+000	2.4996387e+003	1.1391705e+002
3.2121000e+004	1.4158162e+000	5.1900000e-004	1.6563000e-002	0.0000000e+000	2.4996387e+003	1.1391681e+002
3.2121000e+004	1.4157957e+000	7.5500000e-004	1.6460000e-002	0.0000000e+000	2.4996387e+003	1.1391657e+002

**Obrázek 2.2:** Výřez ze souboru s daty shromážděných během jízd s označením boční polohy vozidla  $y_i$  a ujeté vzdálenosti  $d$ .

Z původního souboru je vybrán sloupec obsahující hodnoty ujeté vzdálenosti  $d$  a sloupec obsahující boční odchylku od vztažné krajní čáry  $y_i$ . Vybrané sloupce jsou převedeny do tabulkového procesoru Microsoft Excel.

U dat není dodrženo rovnoměrného vzorkování trajektorie. Data jsou následně upravena pomocí lineární interpolace, aby je bylo možné zpracovávat jako rovnoměrně vzorkované. Perioda vzorkování  $T_{vz}$  je zvolena 0.4m. Pro každý vzorek se získá nová hodnota boční odchylky vozidla  $y_i$  s pomocí lineární interpolace [3], [15]. Porovnání dvou průběhů před a po interpolaci je na obrázku 2.3. K úpravě vybraných trajektorií jízd se pro rovnoměrné vzorkování využije funkce programu Matlab *interp1* – interpolace jednorozměrného signálu. Parametrem této funkce je rovnoměrně ovzorkovaná ujetá vzdálenost  $d$  a typ interpolace. V případě že se jedná o lineární interpolaci je parametrem funkce *interp1* hodnota ‘linear’ [3]. Jsou interpolovány všechny vybrané jízdy s konstantní  $T_{vz}$ . Data po této úpravě jsou připraveny k analýze a zjišťování charakteristických změn v jízdě vozidla.



Obrázek 2.3: Část dat realizované jízdy před a po lineární interpolaci.

## 2.3 Jízdní trajektorie

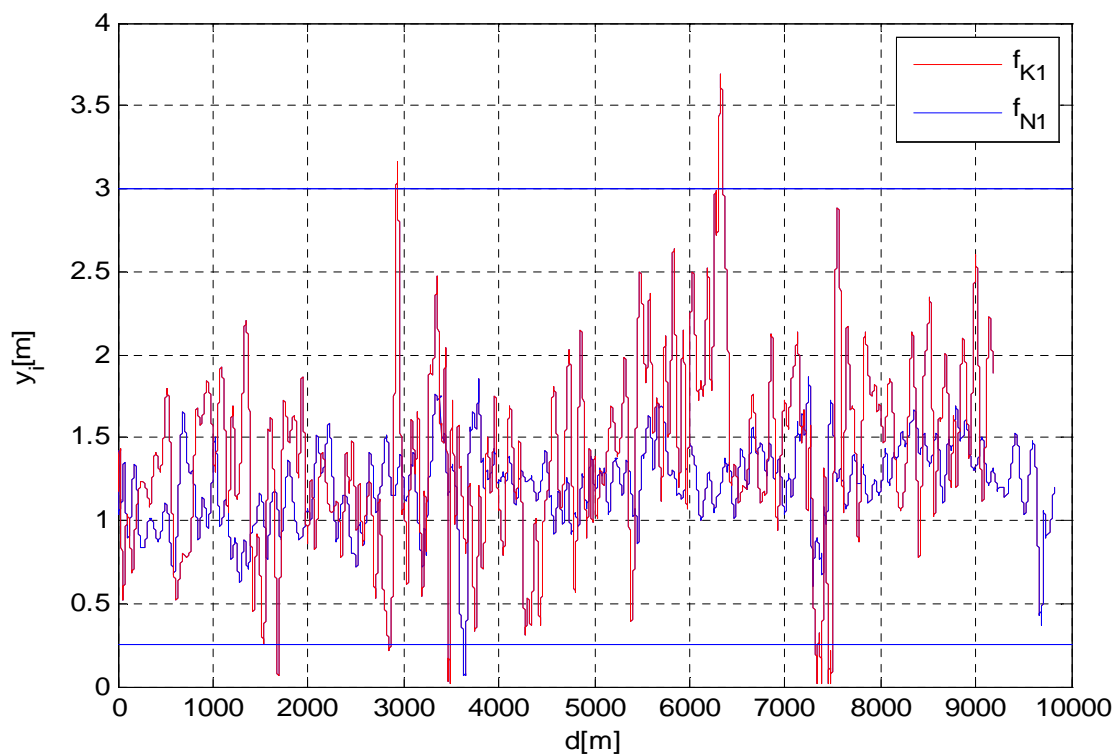
Získaná data ze simulátoru jsou číslicovým zpracováním měřených veličin. Jedná se o diskrétní signály. V grafických závislostech jsou průběhy znázorněny spojitě pro lepší názornost. Provedené zkušební jízdy mají stochastický charakter. Nelze u nich předpovědět, jakých hodnot nabudou [1], [2], [6].

Analýzám byly podrobeny vybrané charakteristické jízdní trajektorie, které představovaly realizace 4 různých náhodných procesů. Prvním procesem je zkušební jízda řidiče A, který provedl na simulátoru koncentrovanou jízdu a je označena symbolem  $f_K$ . Druhým procesem je zkušební jízda tohoto řidiče, který byl prokazatelně pod vlivem únavy a tato jízda je hodnocena jako nekoncentrovaná s označením  $f_N$ . Třetím a čtvrtým procesem  $g_K$ ,  $g_N$  jsou zkušební jízdy řidiče B se stejnými hodnotícími kritérii. Zkušební jízdy řidičů lze charakterizovat jako slabě stacionární procesy. Souhrn analyzovaných realizací jízdy ze simulátoru a jejich označení je uveden v tabulce 2.1. Numerické indexy u trajektorií značí pořadí realizace.

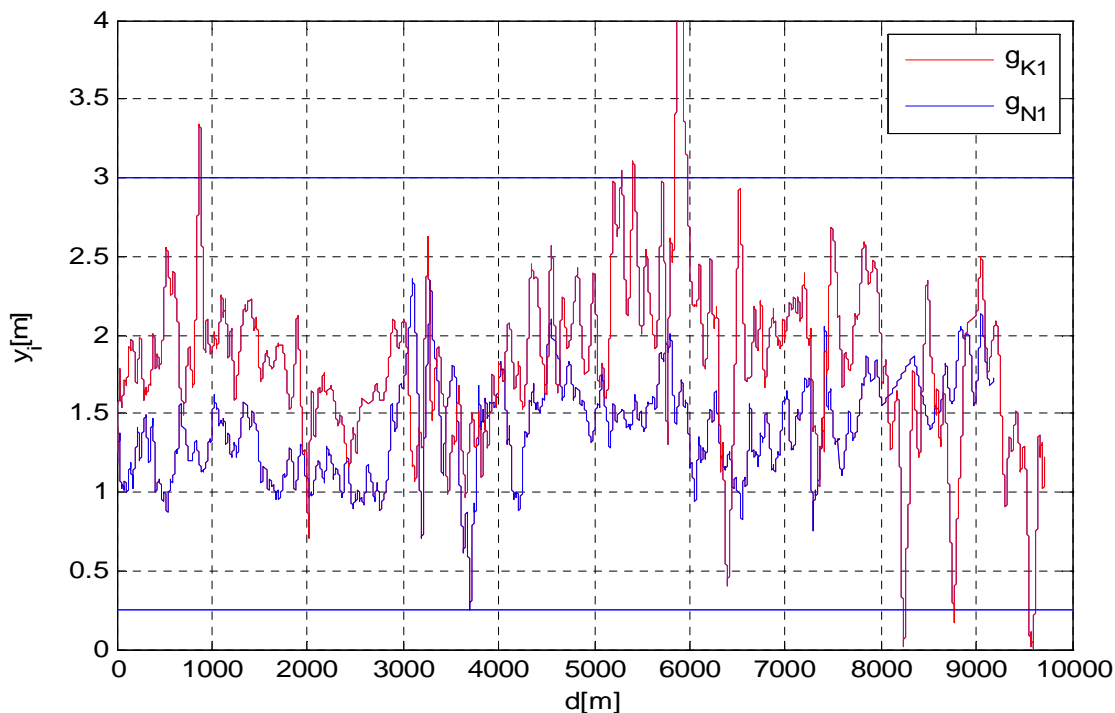
**Tabulka 2.1: Značení a vlastnosti vybraných analyzovaných jízd.**

Řidič	Charakter	Označení trajektorie jízdy
A	koncentrovaná jízda	$f_{K1}, f_{K2}, f_{K3}$
	nekoncentrovaná jízda	$f_{N1}, f_{N2}, f_{N3}$
B	koncentrovaná jízda	$g_{K1}, g_{K2}, g_{K3}$
	nekoncentrovaná jízda	$g_{N1}, g_{N2}, g_{N3}$

Realizace jízd koncentrovaného  $f_K$  a nekoncentrovaného  $f_N$  řidiče A je na obrázku 2.4. Realizace jízd koncentrovaného  $g_K$  a nekoncentrovaného  $g_N$  řidiče B je na obrázku 2.5. Grafické znázornění je doplněno o vodící linky jízdního pruhu pro názornější posuzování výjezdů uvnitř jízdního pruhu.

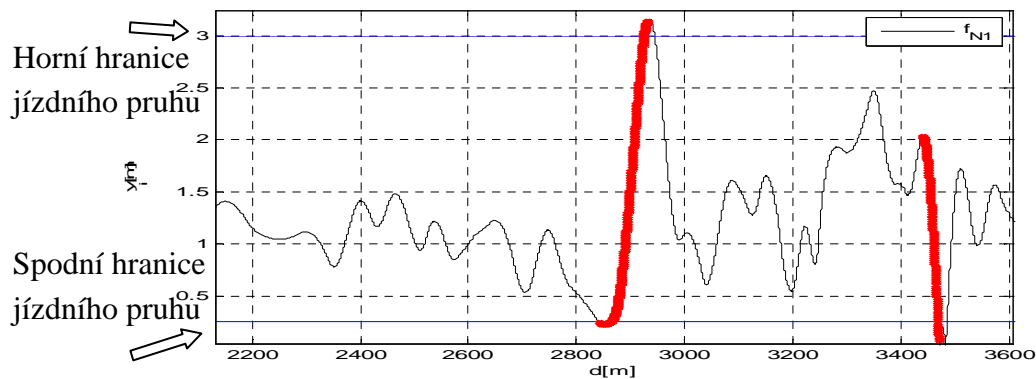


**Obrázek 2.4: Trajektorie jízd koncentrovaného  $f_{K1}$  a nekoncentrovaného  $f_{N1}$  řidiče A.**



Obrázek 2.5: Trajektorie jízdy koncentrovaného  $g_{K1}$  a nekoncentrovaného  $g_{N1}$  řidiče B.

Horní hranicí boční polohy vozidla je vodící linka umístěná do úrovně 3m. Vzatažná vodící čára je v poloze nula. Vzhledem k této hodnotě se měří boční poloha vozidla  $y_i$ . Spodní hranice boční polohy vozidla je znázorněna v grafu ve vzdálenosti 25cm od nulové vodící čáry a představuje mez výjezdu a kritickou polohu vozidla v takto definovaném jízdním pruhu. Při překročení těchto dvou hranic je možno hodnoty polohy  $y_i$  pojmenovat jako výjezd mimo jízdní pruh. Za výjezd mimo jízdní pruh lze považovat plynulé delší zvyšování či snižování hodnoty boční polohy vozidla  $y_i$  vzhledem k vztažné vodící čáře bez výraznějších prvků zákmitů. Znázornění části trajektorie, které se považují za výjezd mimo jízdní pruh vlivem nekoncentrovanosti, jsou zvýrazněny červenou barvou na obrázku 2.6.



Obrázek 2.6: Znázornění výjezdů v trajektorii vzniklé vlivem nekoncentrované jízdy  $f_N$ .



### 3 HODNOTÍCÍ CHARAKTERISTIKY TRAJEKTORIÍ

Vyhodnocení a nalezení vhodných parametrů trajektorií koncentrované a nekoncentrované jízdy je možné v časové oblasti či frekvenční oblasti. Rychle se rozvíjejícím přístupem je využití časově-frekvenční analýzy. Pro analyzovaný signál je důležité sledovat vývoj stochastického signálu po krátkých úsecích a tyto segmenty následně analyzovat. Lze tak získat charakteristiku měnících se vlastností segmentů a v těchto charakteristikách nalézt parametr zachycující vyjetí z jízdního pruhu. V této části jsou definovány metody výpočtů charakteristik, které mohou být vhodným parametrem při detekování výjezdu vozidla mimo jízdní pruh. [1], [6], [11]

#### 3.1 Charakteristika signálů v časové oblasti

Pro tuto část je popsáno využití statistických a korelačních metod analýzy signálu. Pro analyzované trajektorie, u kterých nemůžeme předem odhadnout následující hodnotu je popis touto charakteristikou možným přístupem pro následné zpracování. U vybraných kompletních trajektorií jízdy vybraných řidičů A, B se jedná o nalezení společných rysů pro koncentrované jízdy  $f_K$ ,  $g_K$  a společných rysů nekoncentrovaných jízdy  $f_N$ ,  $g_N$ . Charakteristiky analyzovaných trajektorií jízdy se zkoumají přes vzdálenostní interval  $d$  jako odhady. Navrhnuté charakteristiky se využijí u kompletních trajektorií jízdy  $f_K$ ,  $f_N$ ,  $g_K$ ,  $g_N$  a pro jednotlivé segmenty těchto jízdy.

##### 3.1.1 Pravděpodobnostní přístup

Úplným popisem signálu je jednorozměrná hustota pravděpodobnosti. Ukazuje rozdělení okamžitých hodnot signálu. Charakterizuje kompletní signál. Může vyhodnocovat místo náhlé změny v signálu.[1],[4]

Histogram udává předpis pro odhad hustoty pravděpodobnosti. Jeho sestavení se provádí jako rozložení do intervalu  $\langle a, b \rangle$ , který se rozdělí do  $K$  třídních intervalů. Počet tříd se odhaduje např. podle vzorce (3.1) [1]. Výsledky této charakteristiky ilustrují rozdělení bočních poloh vozidla  $y_i$  a lze vizuálně porovnat tyto charakteristiky a vyvodit z nich popis o výskytu výjezdů.

$$K = 1 + 3,3 \cdot \log(N), \quad (3.1)$$

kde  $K$  ... počet tříd histogramu,

$N$  ... konečný počet vzorků.

### 3.1.2 Statistický přístup

Pro nalezení charakteristického parametru změny v jízdě vozidla lze využít významné statistické charakteristiky, kterými mohou být jak obecné tak i centrální momenty.

Momentem prvního řádu je střední hodnota signálu (3.2). Pracuje se s odhadem těchto hodnot napříč ujeté vzdálenosti  $d$ . Určuje těžiště hodnot boční polohy  $y_i$ . Její vlastností je velká citlivost na extrémní hodnoty.[1],[4],[12]

- **Střední hodnota**

$$\mu_y = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N y_i \quad (3.2)$$

kde  $N$  ... konečný počet vzorků,

$\mu_y$  ... střední hodnota konečného počtu bočních poloh vozidla,

$y_i$  ... boční poloha vozidla.

Momentem druhého řádu je tzv. rozptyl (3.3). Jedná se o střední kvadratickou odchylku od střední hodnoty  $\mu_y$ . Při posouzení jízdní trajektorie určuje, jak moc se boční poloha  $y_i$  vzdaluje od odhadované střední hodnoty pozice vozidla  $\mu_y$  v jízdním pruhu.[4],[12]

- **Rozptyl**

$$\sigma_y^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu_y)^2, \quad (3.3)$$

kde  $\sigma_y^2$  ... rozptyl bočních poloh vozidla,

$y_i$  ... boční poloha vozidla,

$\mu_y$  ... střední hodnota konečného počtu bočních poloh vozidla,

$N$  ... konečný počet vzorků.

V případě rozptylu je výsledek v kvadrátu. Lépe je tedy použít odmocninu rozptylu, která se shoduje s rozměrem sledované veličiny. Pro určení míry rozptylu boční polohy  $\sigma_y^2$  vozidla se použije směrodatná odchylka  $\sigma_y$  (3.4). Její hodnota v průběhu jízdy ukazuje míru odchylek od žádané boční polohy vozidla. V následné analýze trajektorií jízd se očekává zvyšování hodnoty směrodatné odchylky  $\sigma_y$  při vznikající nekoncentrované jízdě a tím k detekování výjezdů[1],[8],[16].

- **Směrodatná odchylka**

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (y_i - \mu_y)^2}, \quad (3.4)$$

kde  $\sigma_y$  ... směrodatná odchylka bočních poloh vozidla,  
 $\mu_y$  ... střední hodnota konečného počtu bočních poloh vozidla,  
 $y_i$  ... boční poloha vozidla,  
 $N$  ... konečný počet vzorků.

Na výjezdy vně jízdního pruhu vlivem nekoncentrovanosti lze nahlížet jako na místa, kde trajektorie se stává více nestabilní. Tuto vlastnost má již dříve zmiňovaný rozptyl. Jelikož, se váže ke střední hodnotě, určuje míru stability vzhledem k ní. Lze tedy uvažovat o parametru, který by byl mírou stability nezávislým na střední hodnotě boční polohy vozidla. Rozptyl byl používán k určování stability frekvenčních generátorů. Jelikož nevyhovoval vzhledem k jeho konvergenci k nule pouze při působení bílého šumu, bylo zavedeno pro určení míry stability Allanovy odchylky (3.5) [10]. Zde se již neobjevuje střední hodnota  $\mu_y$ . Je zde využíváno rozdílů kvadrátů sousedních prvků  $y_i$ .

- **Allanova odchylka**

$$ADEV_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^{N-1} (y_{i+1} - y_i)^2}{2(N-1)}}, \quad (3.5)$$

kde  $ADEV_y$  ... Allanova odchylka boční polohy vozidla,  
 $y_i$  ... boční poloha vozidla,  
 $y_{i+1}$  ... následující vzorek boční polohy vozidla k  $y_i$ ,  
 $N$  ... konečný počet vzorků.

- **Medián**

Lze také uvažovat jako charakteristiku změny boční polohy medián  $\tilde{y}$ . Jedná se o centrální hodnotu posloupnosti  $y_i$ . Při lichém počtu vzorků platí

$$\tilde{y} = y_i, \text{ kde } i = \frac{N+1}{2}. \quad (3.6)$$

Je-li počet vzorků sudý, pak

$$\tilde{y} = \frac{y_i + y_{i+1}}{2}, \text{ kde } i = \frac{N}{2}, \quad (3.7)$$

kde  $\tilde{y}$  ... medián bočních poloh vozidla,  
 $y_i$  ... boční poloha vozidla,  
 $N$  ... konečný počet vzorků.

### 3.1.3 Korelační přístup

U náhodných vybraných jízd lze hledat vzájemnou závislost mezi jednotlivými typy těchto jízd. Například závislost jízd koncentrovaného  $f_K$ ,  $g_K$  a nekoncentrovaného  $f_K$ ,  $g_K$  řidiče. Nástrojem k zjištění této vzájemné míře závislosti se využívají korelační

$R_{fg}$  a kovarianční  $C_{fg}$  funkce (3.8), (3.9). Korelační funkce určuje míru závislosti mezi jednotlivými bočními polohami vozidla  $y_i$  v odpovídající ujeté vzdálenosti  $d$ . Kovarianční funkce  $C_{fg}$  odpovídá závislosti mezi centrovanými bočními polohami  $y_i - \mu_y$  vozidla. Závislost dvou konkrétních vzorků se nazývá korelace  $R_{a,b}$  a kovariance  $C_{a,b}$ . Jedná se o vzorce pro konečný počet hodnot  $N$ . [1],[6],[8],[12]

- **Korelační funkce**

$$R_{fg}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1-\tau} y_{if} \cdot (y_{ig} - \tau), \quad (3.8)$$

kde  $R_{fg}(\tau)$ ... vzájemná korelační funkce dvou trajektorií,

$N$  ... konečný počet vzorků,

$y_{if}$  ... boční poloha vozidla jednoho průběhu pro vzájemnou závislost,

$y_{ig}$  ... boční poloha vozidla druhého průběhu pro vzájemnou závislost,

$\tau$  ... vzdálenostní posun.

- **Kovarianční funkce**

$$C_{fg}(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{i=0}^{N-1-\tau} (y_{if} - \mu_{yf}) \cdot [(y_{ig} - \tau) - \mu_{yg}], \quad (3.9)$$

kde  $C_{fg}(\tau)$ ... vzájemná kovarianční funkce dvou trajektorií,

$\mu_{yf}$  ... střední hodnota boční polohy trajektorie  $f$ ,

$\mu_{yg}$  ... střední hodnota boční polohy trajektorie  $g$ .

Pro zjištění stupně těsnosti u lineárních závislostí využíváme korelační koeficient. Vazbu mezi dvěma signály lze kvantifikovat pomocí korelačního koeficientu (3.10). Nabývá hodnot od -1 do +1. Při těsnosti závislosti vypovídá hodnota větší než 0,8. Hodnota korelačního koeficientu menší než 0,3 je považována za málo těsnou. Mezi těmito dvěma hodnotami je korelační závislost středně těsná [8],[12].

- **Korelační koeficient**

$$\rho_{fg} = \frac{N \sum_{i=1}^N y_{if} \cdot y_{ig} - \sum_{i=1}^N y_{if} \sum_{i=1}^N y_{ig}}{\sqrt{\left[ \sum_{i=1}^N y_{if}^2 - \left( \sum_{i=1}^N y_{if} \right)^2 \right] \cdot \left[ \sum_{i=1}^N y_{ig}^2 - \left( \sum_{i=1}^N y_{ig} \right)^2 \right]}} \quad (3.10)$$

kde  $\rho_{fg}$ ... korelační koeficient,

$N$  ... počet vzorků.

Předešlé rovnice korelační  $R_{fg}$  a kovarianční  $C_{fg}$  funkce jsou pro vzájemnou závislost dvou trajektorií jízdy. Možnost je zjišťování závislosti jedné trajektorie pro vlastní hodnoty boční polohy  $y_i$  v závislosti na posunutí  $\tau$  v ujeté vzdálenosti  $d$ . Jedná se o autokorelační  $R_{ff}$  a autokovarianční  $C_{ff}$  funkce. Rovnice (3.8), (3.9), (3.10) přejdou do tvaru, kde místo dvou signálů se objevuje pouze jeden signál. Tato analýza se využívá u hledání periodického signálu v šumu. V analýze jde o zjištění, zda vybrané trajektorie

nekoncentrovaných jízd  $f_N$  a  $g_N$ , neobsahují periodicky se opakující charakteristické prvky, které by odpovídaly hledaným výjezdům. [1],[6],[7]

## 3.2 Charakteristika signálů ve frekvenční oblasti

Frekvenční analýza znamená transformovat analyzované jízdní trajektorie do oblasti frekvenčních složek. V této podobě transformace lze najít prvky, které by se například v oblasti ujeté vzdálenosti neprojevíly. Při frekvenční analýze trajektorií jízd lze zkoumat obsah frekvenčních složek jízd koncentrovaných řidičů  $f_K$ ,  $g_K$  a jízd nekoncentrovaných řidičů  $f_N$ ,  $g_N$ . Následně s využitím těchto znalostí o obsahu frekvenčních složek využít k detekování výjezdů řidičů z jízdního pruhu vlivem nekoncentrovanosti.

### 3.2.1 Frekvenční analýza

Jednotlivé trajektorie analyzovaných jízd mají diskrétní charakter. Nástrojem transformace bude diskrétní Fourierova transformace dále značená jako DFT. Jedná se o neparametrickou metodu spektrální analýzy. Je nutno dodržovat při vzorkování podmínky Nyquist-Shannonnova teorému. Platí  $f_{vz} \geq 2f_{max}$ . Maximální frekvence obsažená v signálu se značí  $f_{max}$ . Při provádění spektrální analýzy trajektorie boční odchylky vozidla  $y_i$  je výsledkem signál označený jako  $Y(k)$ . Obsahuje informaci o amplitudových frekvenčních složkách a fázových frekvenčních složkách. Pro správné použití DFT a možnosti vzájemného porovnání je nutné rovnoměrné vzorkování. Tato podmínka je splněna v předchozím způsobu získávání dat, viz kapitola 2.2. DFT pro analýzu boční polohy vozidla  $y_i$  je počítána podle rovnice (3.11). [1],[6],[7],[9],[15]

$$Y(k) = \sum_{i=0}^{N-1} y_i \cdot e^{-j\frac{2\pi}{N}ik}, \quad (3.11)$$

kde  $Y(k)$  ... diskrétní frekvenční spektrum průběhu boční polohy  $y_i$  vozidla,

$y_i$  ... boční poloha vozidla,

$N$  ... konečný počet vzorků,

$k$  ... diskrétní body frekvenční osy.

Pro vzorkovací frekvenci  $f_{vz}$  [ $m^{-1}$ ] a periodu vzorkování  $T_{vz}$  [m] je vzdálenost mezi jednotlivými frekvenčními složkami  $\Delta f$  dána

$$\Delta f = \frac{1}{NT_{vz}} = \frac{f_{vz}}{N}, \quad (3.12)$$

kde  $N$  ... konečný počet vzorků boční polohy vozidla.

Z diskrétního komplexního spektra lze zobrazit amplitudové spektrum  $A(k)$  (3.13) nebo fázové spektrum  $\varphi(k)$  viz (3.14).

$$A(k) = |Y(k)| \quad (3.13)$$

$$\varphi(k) = \arg [Y(k)] \quad (3.14)$$

Kritériem pro charakterizování změn v jízdě řidiče pomocí spektrální analýzy může být hodnota výkonu  $P_L$  daného součtem  $L$  amplitudových složek výkonového spektra  $S(k)$  získaného z trajektorie jízdy o konečném počtu  $N$  vzorků. Výkonové spektrum se určí podle vzorce (3.15). Výkon konkrétního počtu složek  $L$  je dán vzorcem (3.16). [6],[7],[11]

$$S(k) = \frac{1}{N} |Y(k)|^2, \quad (3.15)$$

kde  $Y(k)$  ... diskrétní frekvenční spektrum průběhu boční polohy vozidla,  
 $S(k)$  ... diskrétní výkonové spektrum,  
 $N$  ... konečný počet prvků.

- **Výkon ze spektra**

$$P_L = \sum_{k=0}^{L-1} S(k), \quad (3.16)$$

kde  $S(k)$  ... diskrétní výkonové spektrum,  
 $P_L$  ... výkon pro  $L$  složek výkonového spektra  $S(k)$ .

### 3.2.2 Charakteristiky časově frekvenční

Lze vytvořit dvojrozměrnou funkci pro zobrazení spektra. K vytvoření takovéto funkce se využívá metody tzv. krátkodobých spekter. Používá se stejných principů jako v předchozí frekvenční analýze ovšem důraz se klade na časový výskyt frekvenčních složek. Pro analyzované trajektorie jízdy bude spočívat časově frekvenční analýza k určení výskytu konkrétních frekvenčních složek v ujeté vzdálenosti [2],[3],[6],[7]

Princip časově frekvenční analýzy spočívá v rozdělení sledované trajektorie na krátké úseky konečné délky. Úseky jsou podrobeny DFT podle vzorce (3.11). Následně je z amplitudového spektra  $A(k)$  určené výkonové spektrum  $S(k)$  podle vzorce (3.15). Tento typ zpracování bývá také označován jako krátkodobá Fourierova transformace STFT (Short Time Fourier Transform). Transformace určuje frekvenční složky  $k$  průběhu trajektorie jízdy a určuje jejich umístění v konkrétní vzdálenosti  $d$ . Realizace se provádí klouzavým oknem po trajektorii a v tomto okně se provádí DFT. Problém vzniká v délce klouzajícího se okna. Jelikož délka okna  $D$  je nastavena pro určitou vzdálenost a tím je dáno přesné rozlišení v ujeté vzdálenosti. Pro rozlišení ve frekvenční oblasti platí, že konečný počet vzorků okna  $N$ , rozdělí obsah frekvenčních složek  $\langle -f_{vz}/2, f_{vz}/2 \rangle$  na  $N$  stejných dílů. Proto je rozlišení dáno kompromisem volby délky okna. Čím větší délka okna  $D$  tím větší rozlišení ve frekvenční oblasti  $k$  a naopak. Pro větší rozlišení ve vzdálenosti  $d$  platí co nejkratší délka okna  $D$ . Pro zlepšení

rozlišitelnosti v ujeté vzdálenosti  $d$  a postihnout rychlých změn, se využívá překrývání oken. Výsledný obrazec sestaven z jednotlivých krátkodobých Fourierových spekter se nazývá spektrogram [2],[3],[6]

V analyzovaných trajektoriích lze s použitím tohoto způsobu analýzy, postihnout změnu amplitud frekvenčních složek výkonového spektra  $S(k)$  a tím určit určité charakteristické vlastnosti v této části trajektorie využitelné pro detekci místa kdy dochází k nekoncentrovanosti řidiče a možnému vyjetí z jízdního pruhu.

## 4 ZPRACOVÁNÍ A DETEKOVÁNÍ KRITICKÉ POLOHY

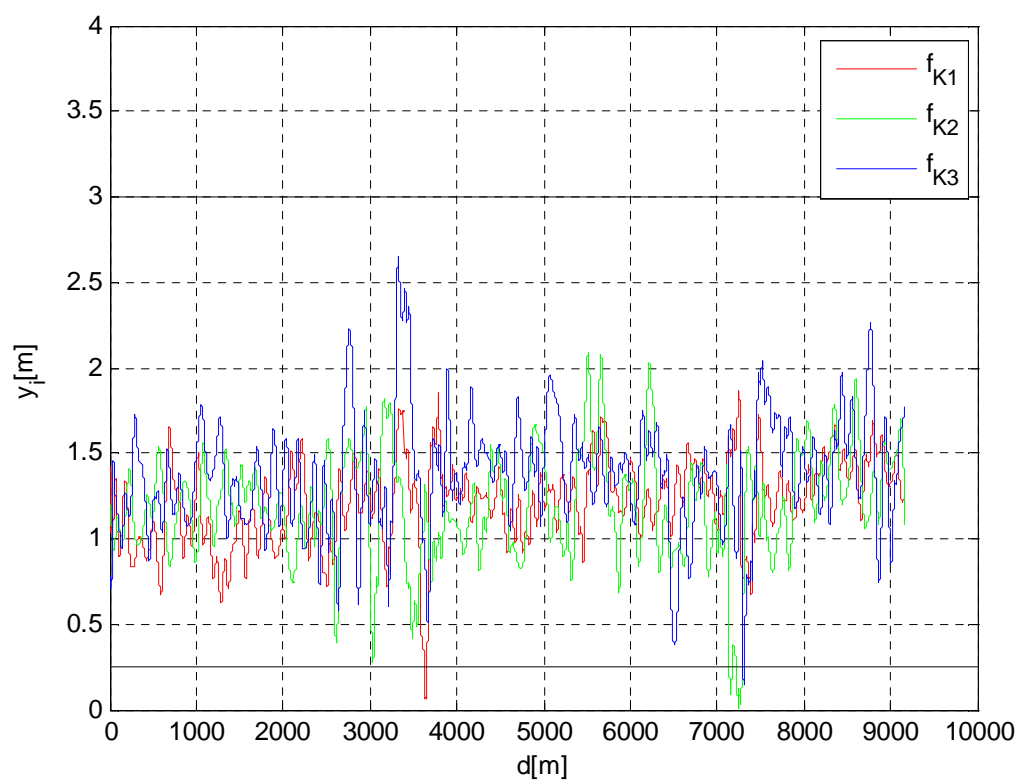
Pro realizaci předchozích navrhnutých charakteristik je využito programu Matlab. Ze získaných dat se nejprve určí charakteristické vlastnosti odpovídající koncentrovaným a nekoncentrovaným trajektoriím jízd. Zjištěné hodnoty těchto charakteristik se porovnají mezi sebou a vyvodí se z nich vlastnosti, které charakterizují trajektorie vzniklé jízdou koncentrovaného řidiče  $f_K$ ,  $g_K$ , či jízdou nekoncentrovaného řidiče  $f_N$ ,  $g_N$ . Získá se celkový pohled na různé typy z hlediska charakteristického parametru. Zjištěné vypovídající vlastnosti trajektorií jízd se aplikují na detekování výjezdu mimo jízdní pruh.

### 4.1 Analýza kompletních trajektorií

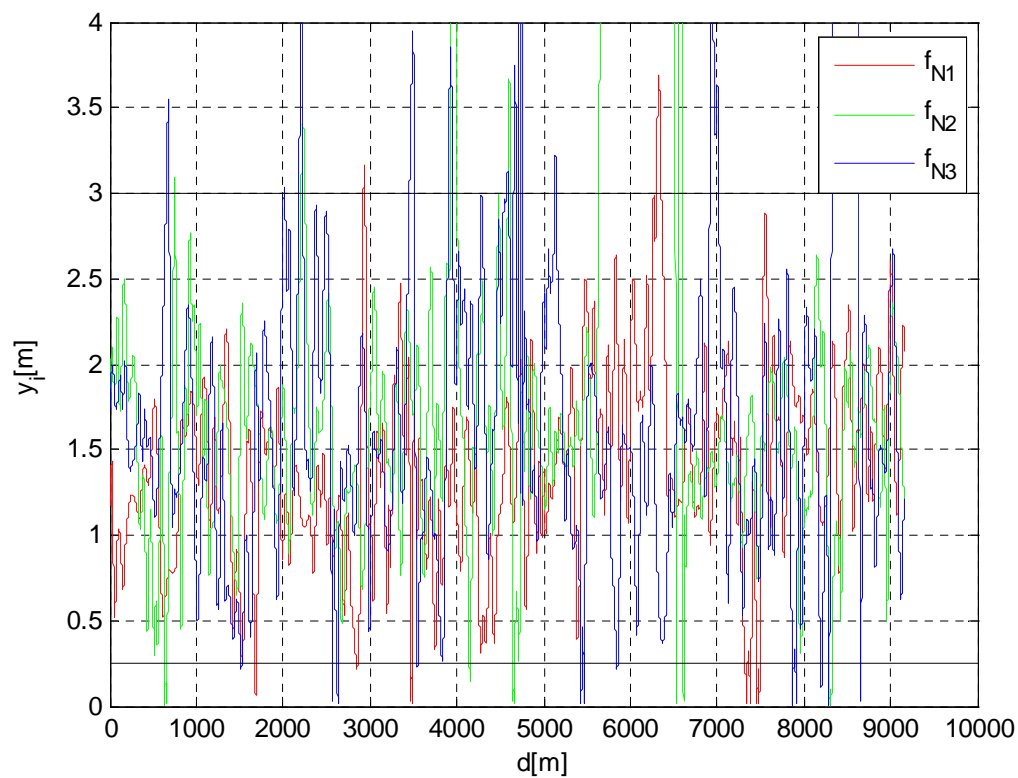
Trajektorie koncentrovaných  $f_K$ ,  $g_K$  a nekoncentrovaných  $f_N$ ,  $g_N$  jízd odpovídajících boční poloze vozidla  $y_i$  jsou pro následné analýzy pomocí charakteristik navrhnutých v kapitole 3, upraveny rovnoměrným vzorkováním  $T_{vz}=0.4m$  a veškeré realizované jízdy jsou omezeny pro stejný konečný počet vzorků  $N$ . Sjednocením počtu vzorků pro jednotlivé realizace jízd, se umožní zjišťovat vzájemnou závislost jednotlivých realizací. Znázornění souboru vybraných trajektorií koncentrovaných jízd řidiče A  $f_K$  jsou na obrázku 4.1. Soubor vybraných trajektorií nekoncentrovaných jízd řidiče A  $f_N$  jsou na obrázku 4.2. Soubor vybraných trajektorií jízd řidiče B jsou pro koncentrovanou jízdu  $g_K$  na obrázku 4.3 a pro nekoncentrovanou jízdu  $g_N$  na obrázku 4.4.

Znázorněné trajektorie jízd se podrobí analýzám zmiňovaných v kapitole 3. Nastavený konečný počet vzorků  $N$  jednotlivých realizací jízd odpovídá hodnotě  $N=22920$  vzorků boční polohy vozidla  $y_i$ . Ujetá celková vzdálenost tak činí  $d=9168m$  pro periodu vzorkování  $T_{vz}=0.4m^{-1}$ .

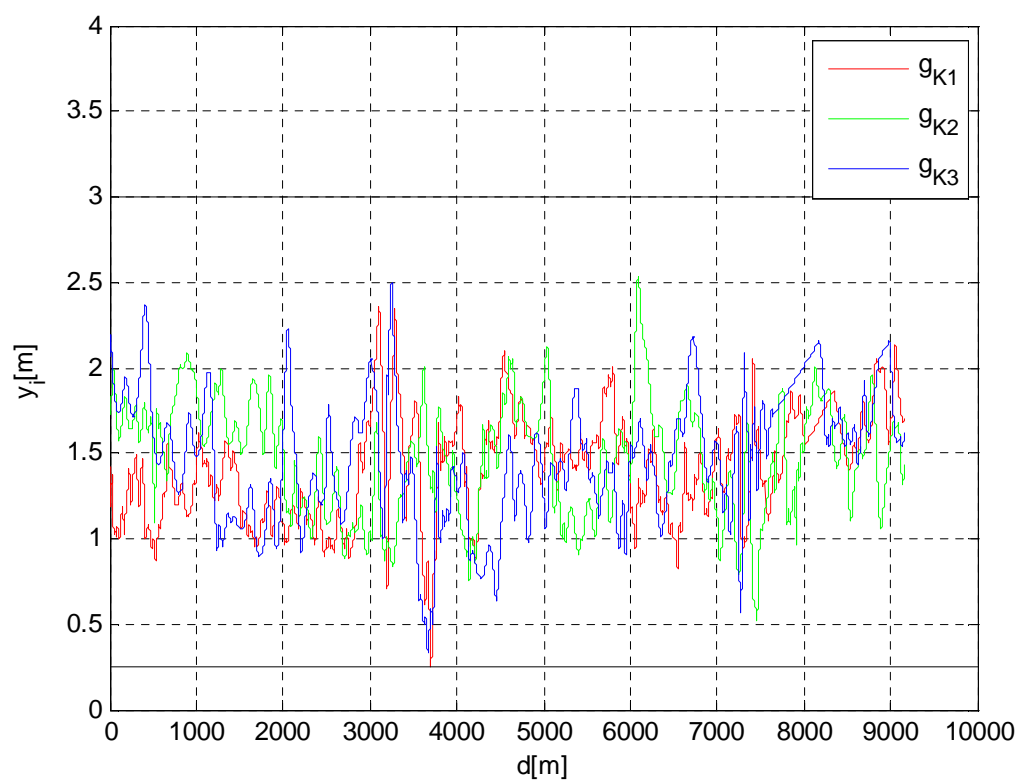




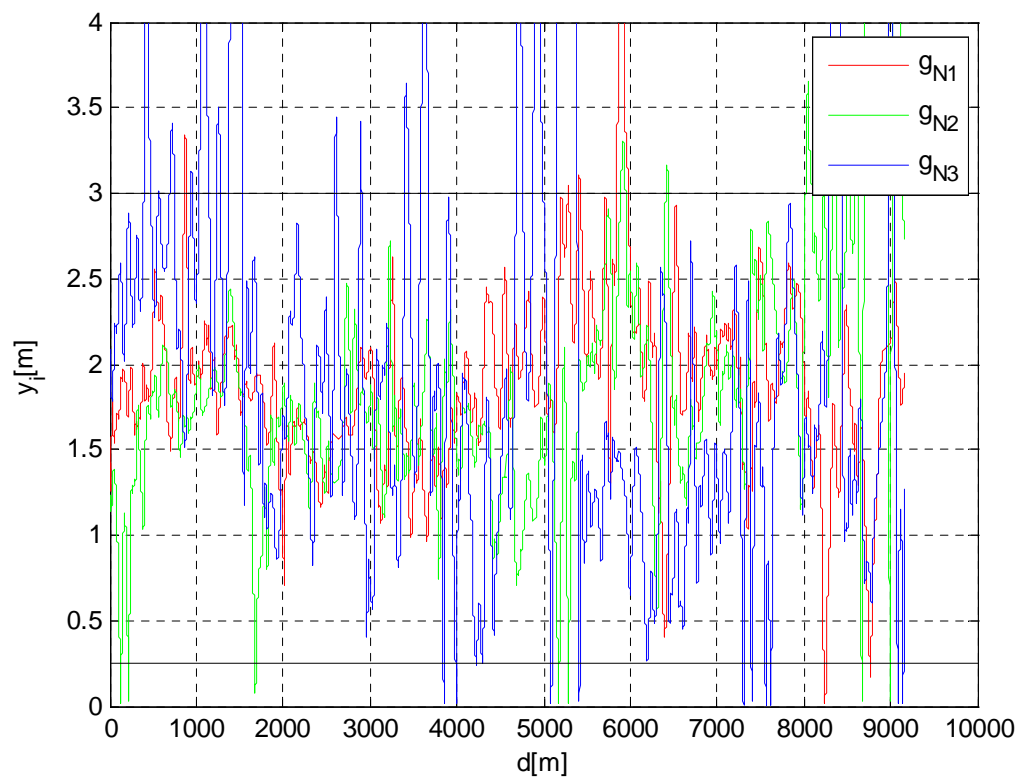
Obrázek 4.1: Realizace jízdy  $f_k$  pro  $k=1,2,3$  koncentrovaného řidiče A.



Obrázek 4.2: Realizace jízdy  $f_N$  pro  $N=1,2,3$  nekoncentrovaného řidiče A.



Obrázek 4.3: Realizace trajektorií jízdy  $g_k$  pro  $k=1,2,3$  koncentrovaného řidiče B.



Obrázek 4.4: Realizace trajektorií jízdy  $g_N$  pro  $N=1,2,3$  nekoncentrovaného řidiče B.

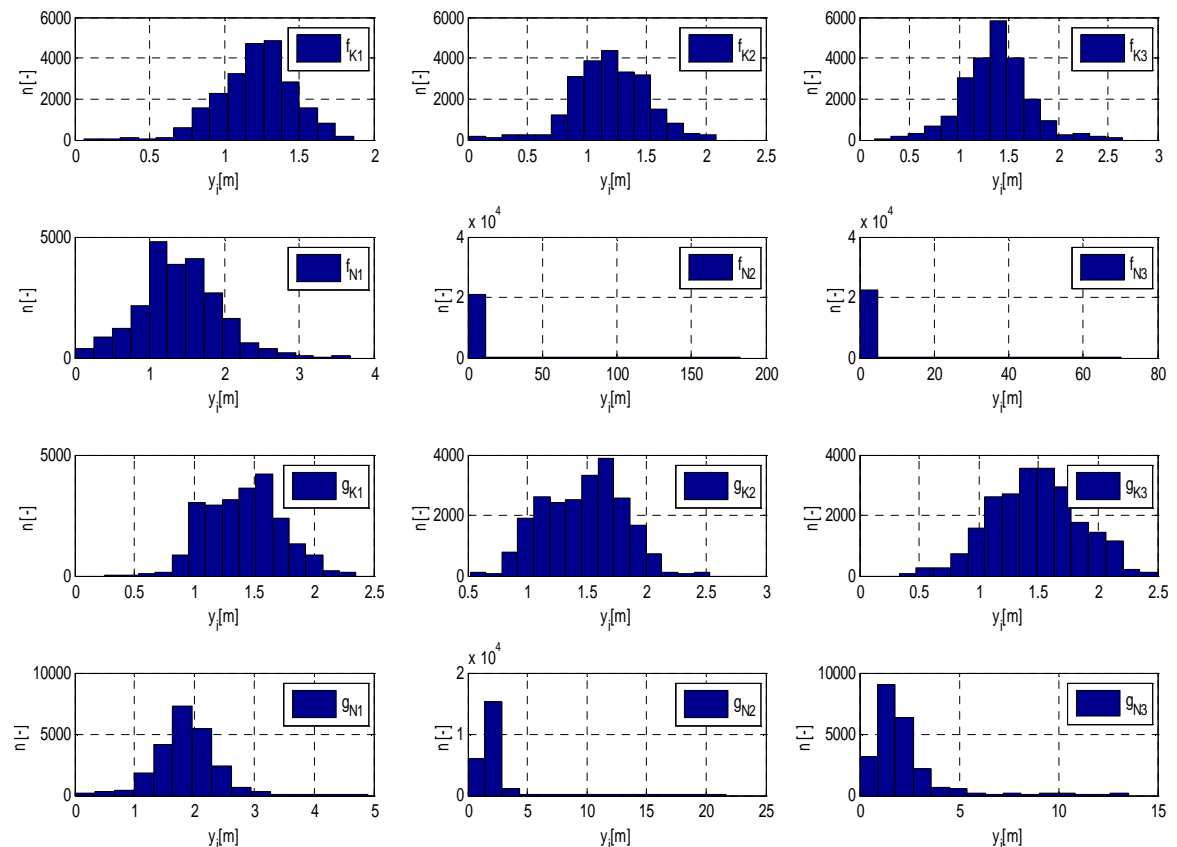
### 4.1.1 Statistické charakteristiky kompletních jízd

Jednotlivé realizované trajektorie se podrobí pravděpodobnostnímu zpracování. Vyšetří se četnost výskytu jednotlivých bočních poloh vozidla  $y_i$  v jednotlivých trajektoriích koncentrovaných  $f_K, g_K$  a nekoncentrovaných  $f_N, g_N$  jízd. Výsledkem je popsání vlivu typu jízdy na boční polohu vozidla  $y_i$ .

Pro konstrukci histogramu je zvolen počet tříd ze vzorce (3.1). Konečný počet vzorků signálu je  $N=22290$ .

$$K = 1 + 3,3 \cdot \log(N) = 1 + 3,3 \cdot \log(22290) = \underline{15,3}$$

Pro vytvoření histogramu je zvolen počet tříd  $K=15$ . Jednotlivé histogramy analyzovaných trajektorií jsou na obrázku 4.5.



**Obrázek 4.5: Histogramy pro jednotlivé realizace jízd koncentrovaných a nekoncentrovaných řidičů A a B při počtu tříd  $K=15$ .**

U koncentrovaných jízd obou řidičů  $f_K, g_K$  je rozložení bočních poloh  $y_i$  pouze v rámci jízdního pruhu. Výjimku tvoří trajektorie koncentrovaných jízd řidiče A  $f_{K1}, f_{K2}, f_{K3}$ . Během těchto jízd se objevil boční výjezd za spodní hranici vzdálenou 25 cm od

vztažné krajní čáry. Ze zobrazených histogramů lze vypočítat extrémní hodnoty bočních poloh vozidla  $y_i$  u nekonzentrovaných trajektorií jízdy  $f_N$  a  $g_N$ . Vysoké hodnoty boční polohy vozidla  $y_i$  odpovídají výjezdům mimo jízdní pruh. Nekonzentrovaný řidič se dostal do stádia spánku a z důvodu žádného externího zásahu, který by řidiče probudil, se hodnota boční polohy  $y_i$  stále navyšovala, až do extrémních hodnot. Po samovolném probuzení došlo u řidiče k opětovnému směřování do jízdního pruhu. Z tohoto důvodu obsahují trajektorie nekonzentrovaných jízd  $f_N$ ,  $g_N$  extrémní výjezdy z jízdního pruhu. Histogramy plně popsaly vybrané trajektorie  $f$  a  $g$  obou typů jízdy.

Následující analýzou vybraných trajektorií jízdy je využití navržených statistických charakteristik v kapitole 3.1.2. Jde o určení střední hodnoty  $\mu_y$ , mediánu  $\tilde{y}$ , rozptylu  $\sigma_y^2$ , směrodatné odchylky  $\sigma_y$  a Allanovy odchylky  $ADEV_y$  pro kompletní trajektorie vybraných jízd řidičů A a B. Výsledky jsou získány pomocí programu Matlab s použitím příslušných funkcí odpovídajícím vzorcům (3.2), (3.7), (3.3), (3.4) a (3.5). V programu jsou již některé statistické funkce zapracovány do knihovny *statistical toolbox*. Příkazy jsou následující:  $\mu$ -mean,  $\sigma^2$ -var,  $\sigma$ -std, *medián*-median. Pro Allanovu odchylku je vytvořena funkce *ADEV* odpovídající vzorci (3.5). Výpočty charakteristik jsou použity na kompletní trajektorie koncentrovaných  $f_K$ ,  $g_K$  a nekonzentrovaných jízd  $f_N$ ,  $g_N$ . Sleduje se jejich chování vůči typu jízdy. [3],[13]

Výsledky charakteristických parametrů při použití v analýze trajektorií koncentrovaných  $f_K$  a nekonzentrovaných  $f_N$  jízd řidiče A jsou uvedeny v tabulce 4.1. Hodnoty ve světle modrém poli jsou výsledkem statistické analýzy vybraných charakteristik koncentrovaných jízd  $f_K$ , které jsou považované za trajektorie jízd neobsahující výjezdy.

**Tabulka 4.1: Výsledky statistických charakteristik vybraných trajektorií jízd řidiče A (jízdy v bez výjezdů značeny modře).**

Trajektorie	$f_{K1}$	$f_{K2}$	$f_{K3}$	$f_{N1}$	$f_{N2}$	$f_{N3}$
Charakteristika						
$\mu_y[m]$	1,2165	1,1929	1,3722	1,3971	8,8592	2,5219
$\tilde{y} [m]$	1,2368	1,1908	1,3766	1,3724	1,6293	1,5249
$\sigma_y[m]$	0,0600	0,1004	0,1114	0,3008	741,7824	38,2790
$\sigma_y^2[m]$	0,2450	0,3168	0,3338	0,5484	27,2356	6,1870
$ADEV_y[m]$	0,0021	0,0023	0,0028	0,0052	0,0453	0,0485

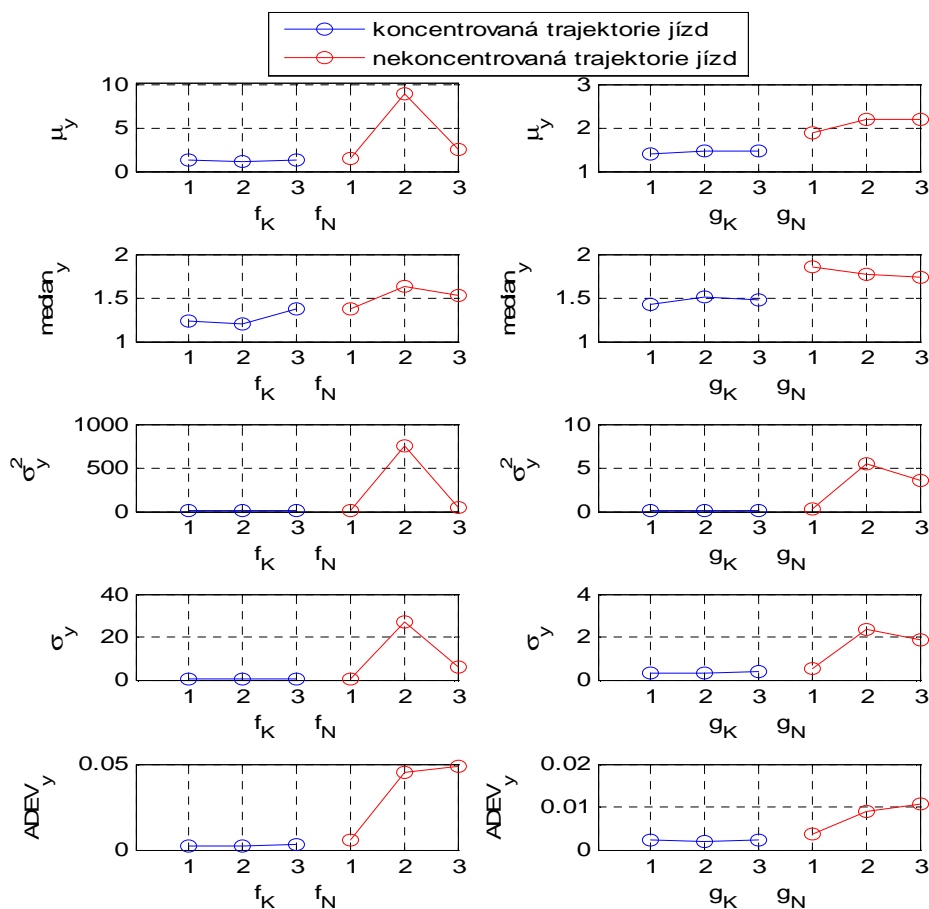
Výsledky charakteristických parametrů při použití v analýze trajektorií koncentrovaných  $g_K$  a nekonzentrovaných  $g_N$  jízd řidiče B jsou uvedeny v tabulce 4.2. Hodnoty ve světle modrém poli jsou výsledkem statistické analýzy vybraných charakteristik koncentrovaných jízd  $g_K$ , které jsou považované za trajektorie jízd

neobsahující výjezdy. Grafické znázornění statistických numerických charakteristik uvedených v tabulkách 4.1 a 4.2 jsou znázorněny na obrázku 4.6.

**Tabulka 4.2:** Výsledky statistických charakteristik vybraných trajektorií jízdy řidiče B (jízdy v bez výjezdů značeny modře).

Trajektorie						
Charakteristika	$g_{K1}$	$g_{K2}$	$g_{K3}$	$g_{N1}$	$g_{N2}$	$g_{N3}$
$\mu_y[m]$	1,409	1,4721	1,469	1,8742	2,1758	2,1768
$\tilde{y} [m]$	1,4251	1,5089	1,4727	1,8609	1,7754	1,7272
$\sigma_y[m]$	0,0958	0,1105	0,1390	0,2803	5,4787	3,5511
$\sigma_y^2[m]$	0,3096	0,3324	0,3728	0,5294	2,3406	1,8844
$ADEV_y[m]$	0,0022	0,0019	0,0022	0,0037	0,0087	0,0106

Pro koncentrované jízdy  $f_K$ ,  $g_K$  platí, že hodnoty všech aplikovaných statistických charakteristik jsou menší než hodnoty nekoncentrovaných jízdy  $f_N$ ,  $g_N$  u jednotlivého řidiče A a B. Tento výsledek vychází z hodnot v tabulkách 4.1 a 4.2.



**Obrázek 4.6:** Rozložení zjištěných statistických charakteristických parametrů vybraných trajektorií jízdy řidičů A, B.

Jak velkou vypovídací hodnotu o rozdílu mezi koncentrovanou jízdou  $f_K$ ,  $g_K$  a nekoncentrovanou jízdou  $f_N$ ,  $g_N$ , mají střední hodnota  $\mu_y$ , medián  $\tilde{y}$ , rozptyl  $\sigma_y^2$ , směrodatná odchylka  $\sigma_y$  a Allanova odchylka  $ADEV_y$ , se rozhodne na základě relativního ukazatele  $\delta_{\text{diff}}(x)$ . Výsledné hodnoty jednotlivých charakteristických parametrů se pohybují v intervalech  $\langle a_{\min}, a_{\max} \rangle$  u koncentrované jízdy a v intervalech  $\langle b_{\min}, b_{\max} \rangle$  u nekoncentrované jízdy. Relativní ukazatel se následně určí jako

$$\delta_{\text{diff}}(x) = \frac{b_{\min} - a_{\max}}{b_{\max} - a_{\min}}. \quad (4.1)$$

kde  $\delta_{\text{diff}}(x)$  ... relativní ukazatel pro zvolený parametr  $x$ ,

$\langle a_{\min}, a_{\max} \rangle$  ... interval hodnot pro parametr  $x$  u koncentrované jízdy,

$\langle b_{\min}, b_{\max} \rangle$  ... interval hodnot pro parametr  $x$  u nekoncentrované jízdy.

Rovnice (4.1) se užije jako kritérium vhodnosti některého z charakteristických parametrů za podmínky, že  $a_{\min} < b_{\max}$ .  $\delta_{\text{diff}}(x)$  je relativní parametr, který bude ukazovat poměr změny mezi nejbližšími hodnotami charakteristického parametru koncentrované a nekoncentrované jízdy k nejvzdálenějším hodnotám charakteristického parametru koncentrované a nekoncentrované jízdy. Maximální hodnota relativního ukazatele  $\delta_{\text{diff}}=1$ , minimální hodnota je  $\delta_{\text{diff}}(x) = -1$ . Hodnota  $\delta_{\text{diff}}(x) = 1$  udává pro toto kritérium nejlepší výsledek pro počítaný charakteristický parametr  $x$ .

Hodnoty relativního parametru změny  $\delta_{\text{diff}}(x)$  u vybraných numerických charakteristik pro jednotlivé řidiče A a B, jsou uvedeny v tabulce 4.3. Z hodnot v této tabulce je patrné, že pro rozdílného řidiče mají charakteristické numerické parametry různou hodnotu relativního parametru změny  $\delta_{\text{diff}}(x)$ . U řidiče A se vzhledem k velikosti  $\delta_{\text{diff}}(x)$  nejlépe osvědčila Allanova odchylka  $ADEV_y$ . Ostatní parametry dosahovaly o řád nižších hodnot. U řidiče B dosahovaly střední hodnota  $\mu_y$  a medián  $\tilde{y}$  hodnot relativní změny  $\delta_{\text{diff}}(\mu_y) = 0.52417$  a  $\delta_{\text{diff}}(\tilde{y}) = 0.50094$  a tedy podle tohoto kritéria byly označeny za nejvhodnější charakteristické parametry. Vzhledem k jejich různým výsledkům relativní změny  $\delta_{\text{diff}}(x)$  u různých řidičů nelze tvrdit, že jsou globálně vhodné pro rozlišení koncentrované a nekoncentrované jízdy. Charakteristické parametry rozptyl  $\sigma_y^2$ , směrodatná odchylka  $\sigma_y$  a Allanova odchylka  $ADEV_y$  vykazují stálost parametru  $\delta_{\text{diff}}(x)$  při změně řidičů a lze o nich říci, že jejich schopnost rozlišovat mezi koncentrovanou jízdou a nekoncentrovanou jízdou nezávisí příliš na řidiči a tím na způsobu jízdy.

**Tabulka 4.3: Relativní ukazatel změny  $\delta_{\text{diff}}(x)$  mezi numerickými charakteristikami koncentrovaných a nekoncentrovaných jízd řidičů A a B.**

$\delta_{\text{diff}}(x)$	$\delta_{\text{diff}}(\mu_y)$	$\delta_{\text{diff}}(\tilde{y})$	$\delta_{\text{diff}}(\sigma^2)$	$\delta_{\text{diff}}(\sigma_y)$	$\delta_{\text{diff}}(ADEV_y)$
řidič A	0,00324	-0,00966	0,00025	0,00795	0,05287
řidič B	0,52417	0,50094	0,02624	0,07709	0,17636

### 4.1.2 Korelační analýza kompletních jízd

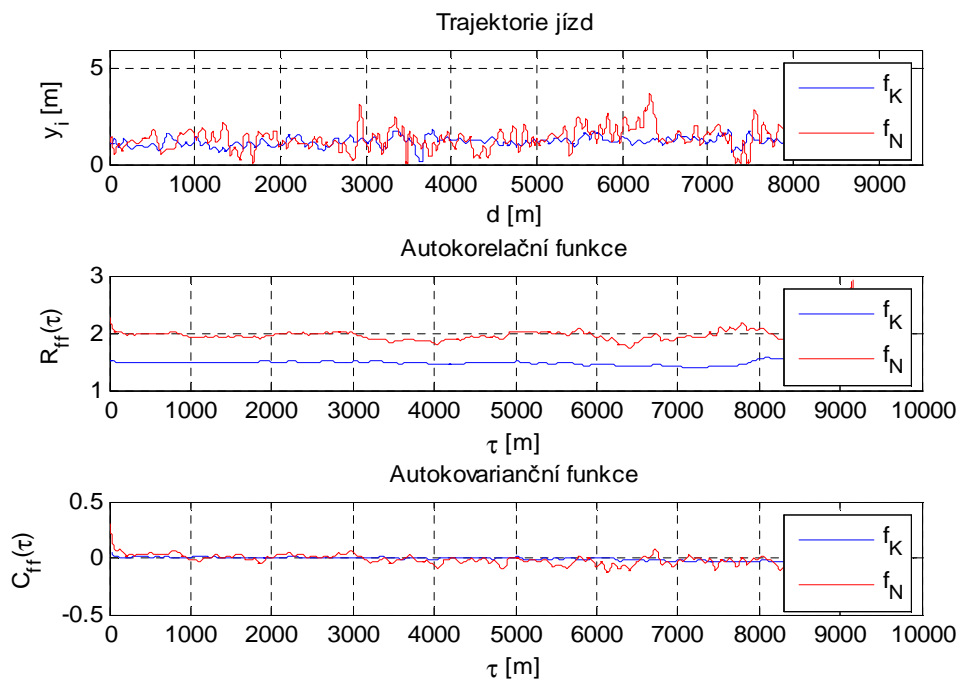
Předchozí numerické charakteristiky, viz kapitola 4.1.1, tvoří číselný parametr, popisující vlastnost jednotlivých trajektorií jízd, vztažený pouze ke své trajektorii jízdy. Dalším způsobem jak analyzovat trajektorie jízd, je zjišťování jejich závislostí na jiných trajektoriích jízd či závislosti na sobě samé. Pro nalezení jednotlivých závislostí slouží vzájemná korelační funkce  $R_{fg}$ , autokorelační funkce  $R_{ff}$ , vzájemná kovarianční funkce  $C_{fg}$ , autokovarianční funkce  $C_{ff}$  a korelační koeficient  $\rho_{fg}$ . Výsledkem těchto operací se zjišťuje vzájemná lineární souvislost mezi jednotlivými koncentrovanými jízdami  $f_K$ ,  $g_K$ , mezi nekoncentrovanými jízdami  $f_N$ ,  $g_N$ , a mezi koncentrovanými a nekoncentrovanými jízdami  $f_N$ ,  $g_K$ ,  $g_N$ ,  $g_K$ .

Základním případem korelační analýzy je, zda trajektorie jízdy nevykazuje obdobné vlastnosti jako periodický signál, k němuž je přidán náhodný stochastický šum. K tomu slouží nalezení autokorelační funkce  $R_{ff}$ . Důvodem ke zvolení tohoto způsobu analýzy je předpoklad, že jízda koncentrovaného člověka představuje stochastický šum a periodicky opakující se výjezdy. Pro nalezení autokorelační funkce trajektorie jízdy se v programovém prostředí Matlab užije funkce pro určení vzájemné korelace mezi dvěma signály  $xcorr()$ . Parametrem funkce  $xcorr()$  je jedna trajektorie jízdy, ke které se hledá autokorelační funkce  $R_{ff}$ . Tyto funkce jsou realizací rovnic (3.8) a (3.9). Pro zohlednění skutečnosti, že při posunutí jedné posloupnosti vzhledem k druhé se zmenšuje překrytí vzorků boční polohy vozidla  $y_i$ , se u funkcí použije parametru *unbiased*. Vzorce (3.8) a (3.9) pak obsahují multiplikační konstantu  $1/(N-\tau)$ . S větším počtem  $N$  dochází ke zkreslenějšímu výsledku. [3],[7],[13]

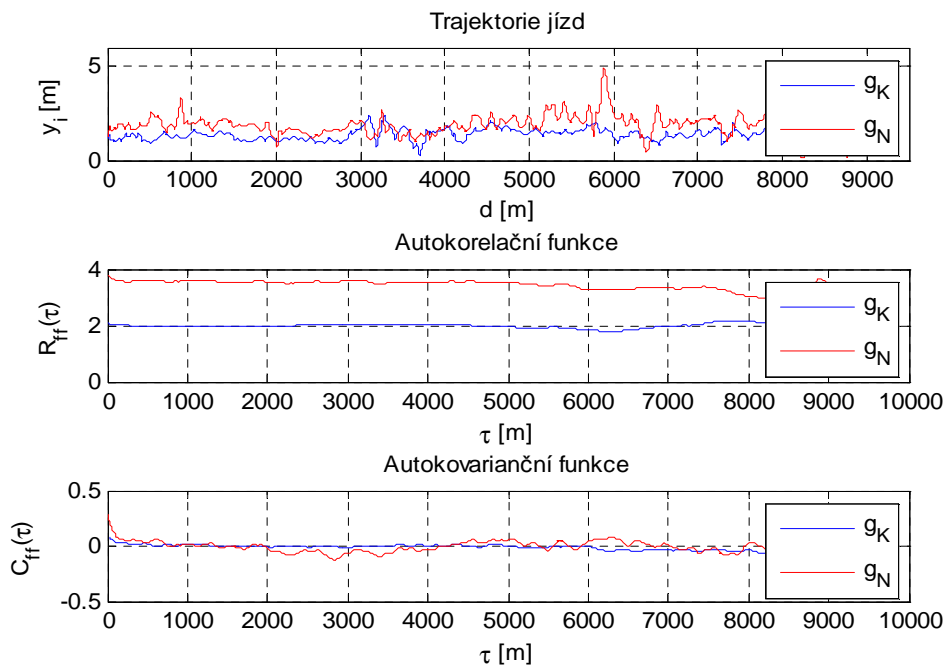
Na obrázcích 4.7 a 4.8 jsou zobrazeny autokorelační  $R_{ff}(\tau)$  a autokovarianční  $C_{ff}(\tau)$  funkce koncentrované a nekoncentrované jízdy řidiče A a B. Grafické výsledky pro autokorelace  $R_{ff}(\tau)$  a autokovariance  $C_{ff}(\tau)$  dalších vybraných trajektorií jízd  $f_N$  a  $g_N$ , jsou uvedeny v příloze A. Pokud by docházelo k periodickému opakování výjezdů řidiče mimo jízdní pruh, byly by tyto periodické výjezdy detekovány pomocí autokorelační  $R_{ff}(\tau)$  a autokovarianční  $C_{ff}(\tau)$  funkce. Rozdíl mezi těmito dvěma funkcemi je pouze v tom, zda je zjišťována vzájemná závislost trajektorie jízdy bez centrovaných vzorků  $y_i$  (autokorelační funkce  $R_{ff}(\tau)$ ), nebo je zjišťována vzájemná závislost centrovaných vzorků  $y_i$  dané trajektorie (autokovarianční funkce  $C_{ff}(\tau)$ ).

Z výsledných funkcí  $C_{ff}(\tau)$  a  $R_{ff}(\tau)$  je zjištěno, že při nekoncentrovaných jízdách  $f_N$  a  $g_N$ , nedochází k periodicky se opakujícím výjezdům. Předpoklad, že se jízda podobá periodickému signálu v šumu, nebyl potvrzen. Dalším výsledkem korelační analýzy je rozdíl mezi autokorelační funkcí  $R_{ff}(\tau)$  a autokovarianční funkcí  $C_{ff}(\tau)$  trajektorií jízd koncentrovaného řidiče  $f_K$ ,  $g_K$  a nekoncentrovaného řidiče  $f_N$ ,  $g_N$ . U trajektorií nekoncentrovaných jízd  $f_N, g_N$  je větší rozptyl proměnlivosti hodnot u zjišťovaných funkcí. Tento poznatek vede na rozlišení koncentrované jízdy a nekoncentrované jízdy vlivem rozdílných autokorelací  $R_{ff}(\tau)$  a autokovariancí  $C_{ff}(\tau)$ .

V rámci segmentování lze poznatek využít pro možné detekování výjezdů v nekoncentrované jízdě.



**Obrázek 4.7:** Autokorelační  $R_{ff}(\tau)$  a autokovarianční  $C_{ff}(\tau)$  funkce koncentrované  $f_K$  a nekoncentrované  $f_N$  jízdy řidiče A.

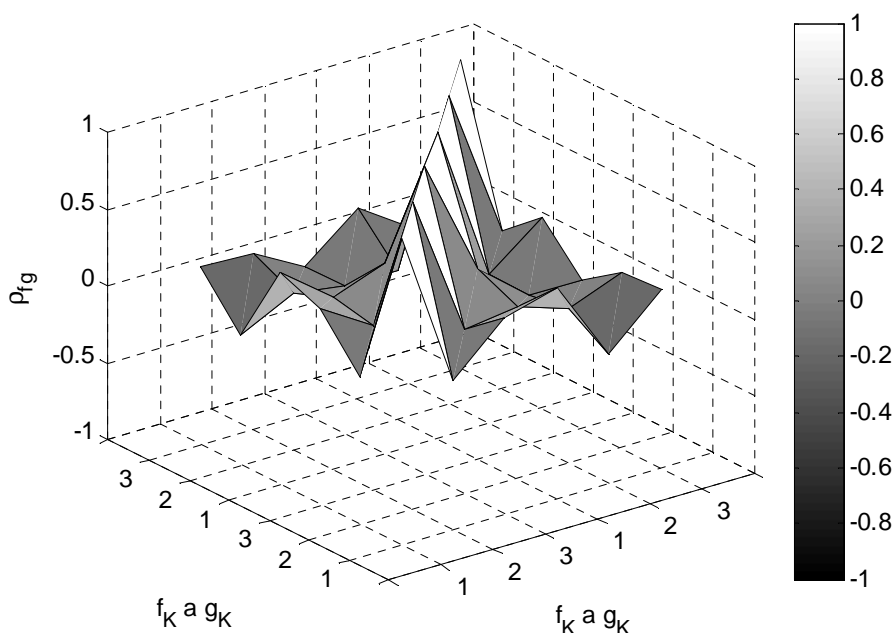


**Obrázek 4.8:** Autokorelační  $R_{ff}(\tau)$  a autokovarianční  $C_{ff}(\tau)$  funkce koncentrované  $g_K$  a nekoncentrované  $g_N$  jízdy řidiče B.



Následná analýza je zaměřena na zjišťování korelačního koeficientu  $\rho_{fg}$  mezi stejnými typy trajektorií a následně mezi koncentrovanou trajektorií jízdy  $f_K$ ,  $g_K$  a nekoncentrovanou trajektorií jízdy  $f_N, g_N$ . Vychází se z rovnice pro výpočet korelačního koeficientu  $\rho_{fg}$  (3.10). Korelační koeficient  $\rho_{fg}$  je lineární mírou závislosti dvou trajektorií jízdy. V programové prostředí Matlab, se korelační koeficient  $\rho_{fg}$  určí pomocí funkce `xcov()` s použitím parametru `coeff`. Lze využít i výpočet matice korelačních koeficientů  $\rho_{fg}$  mezi trajektoriemi jízdy využitím funkce `corrcoeff()`.

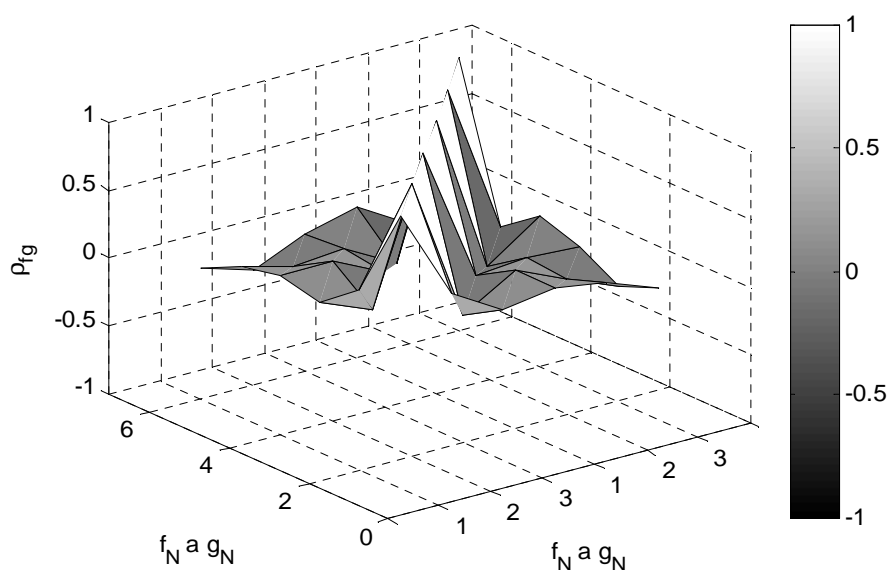
U korelačních koeficientů  $\rho_{fg}$  mezi koncentrovanými jízdami  $f_K$ ,  $g_K$  řidičů A a B se hodnoty pohybovaly v intervalu kladných hodnot  $< 0,0148; 0,3774 >$  a v intervalu záporných hodnot  $< -0,0317; -0,1579 >$ . Grafické znázornění rozložení korelačních koeficientů  $\rho_{fg}$  pro koncentrované jízdy  $f_K$ ,  $g_K$  obou řidičů je na obrázku Obrázek 4.9. Rozložení je symetrické podle hlavní diagonály matice tvořené osami trajektorií jízdy  $f_K$ ,  $g_K$ . Na hlavní diagonále leží korelační koeficient  $\rho_{fg} = 1$  a jedná se o míru lineární závislosti totožných jízdy. Z velikosti korelačních koeficientů  $\rho_{fg}$  vyplývá, že mezi koncentrovanými trajektoriemi jízdy  $f_K$ ,  $g_K$  je vazba málo až středně těsná.



**Obrázek 4.9: Rozložení korelačních koeficientů  $\rho_{fg}$  mezi koncentrovanými jízdami  $f_K$ ,  $g_K$  řidičů A a B.**

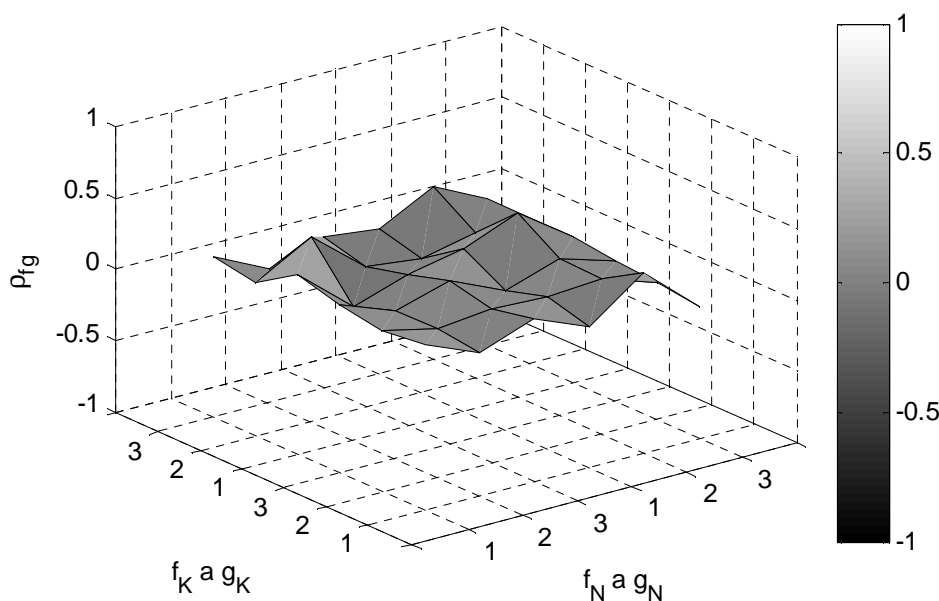
V případě korelačního koeficientu  $\rho_{fg}$  mezi nekoncentrovanými jízdami řidičů A a B se hodnoty pohybovaly v intervalu kladných hodnot  $< 0,3247; 0,0055 >$  a v intervalu záporných hodnot  $< -0,028; -0,1504 >$ . Grafické znázornění je na obrázku 4.10. Je vidět, že dosahované hodnoty korelačního koeficientu pro stejné typy jízdy vykazují obdobné rozptyly hodnot korelačního koeficientu  $\rho_{fg}$  jako u vazeb koncentrovaných jízdy  $f_K$ ,  $g_K$ .

Velikosti korelačního koeficientu  $\rho_{fg}$  ukazují opět malou až středně těsnou vazbu mezi nekoncentrovanými trajektoriemi jízd  $f_N, g_N$ .



**Obrázek 4.10: Rozložení korelačních koeficientů  $\rho_{fg}$  mezi nekoncentrovanými jízdami  $f_N, g_N$  řidičů A a B.**

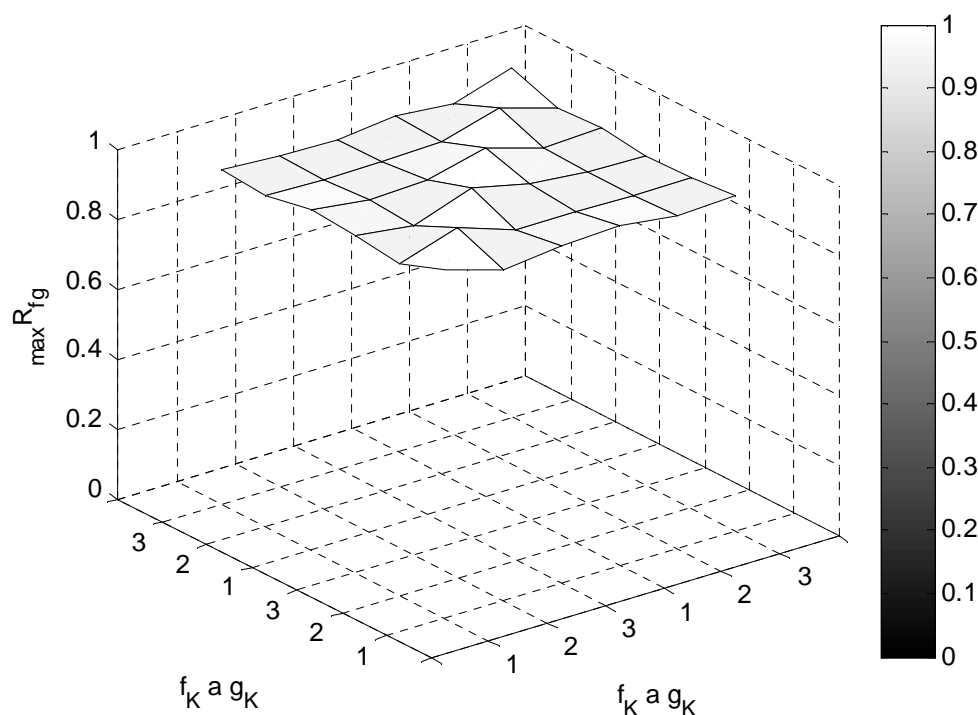
Pro rozlišení mezi koncentrovanými trajektoriemi jízd  $f_K, g_K$  a nekoncentrovanými trajektoriemi jízd  $f_N, g_N$  se zjišťuje, v jakém rozpětí se pohybuje hodnota korelačních koeficientů  $\rho_{fg}$ . Rozložení korelačních koeficientů  $\rho_{fg}$  je na obrázku 4.11. Interval jeho kladných hodnot je  $\langle 0,2870; 0,0010 \rangle$ . Pro záporné hodnoty korelačního koeficientu  $\rho_{fg}$  je interval v rozsahu  $\langle -0,0815; -0,0118 \rangle$ . Hodnoty korelačních koeficientů  $\rho_{fg}$  pro tento typ vazby opět ukazují na malou těsnost. Vzhledem k obdobným hodnotám korelačních koeficientů u všech sledovaných závislostí nelze použít tohoto koeficientu při rozlišování koncentrované a nekoncentrované jízdy.



**Obrázek 4.11: Rozložení korelačních koeficientů  $\rho_{fg}$  mezi nekoncentrovanými  $f_N, g_N$  a koncentrovanými  $f_K, g_K$  jízdami řidičů A a B.**

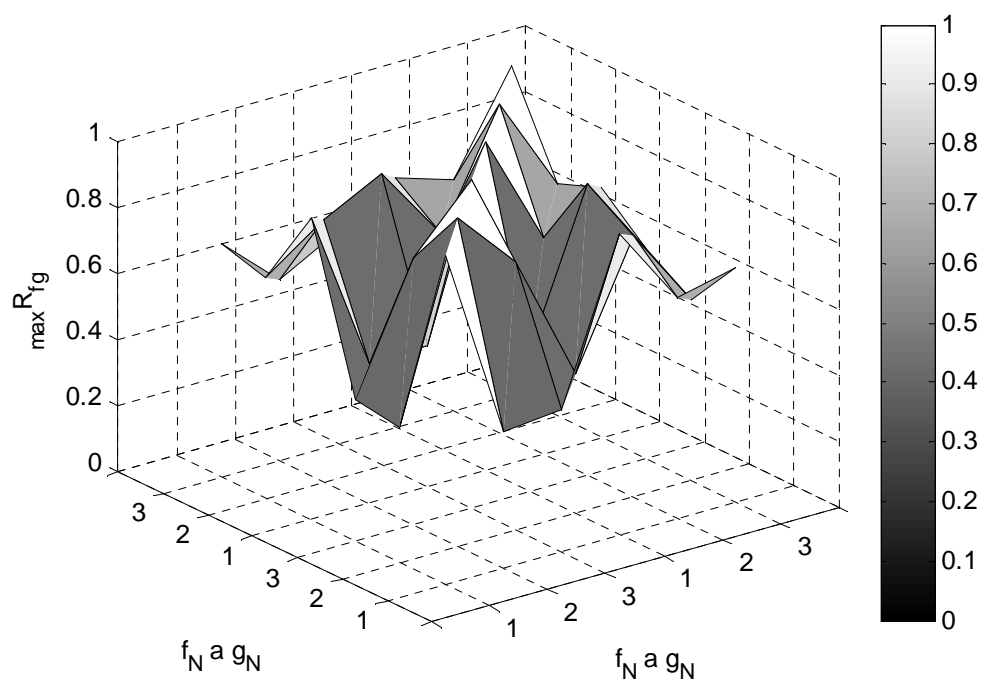
Z předchozího odstavce plyne, že nelze využít korelačního koeficientu  $\rho_{fg}$  k rozlišení nekoncentrované trajektorie  $f_N, g_N$  od koncentrované trajektorie  $f_K, g_K$ . Tímto se předpokládá jeho nevhodnost při určování výjezdů v trajektorii jízdy pomocí segmentace. Korelační koeficient  $\rho_{fg}$  je jako parametr vztažen ke kovarianční funkci  $C_{fg}$ . Předchozí analýza pro korelační koeficient  $\rho_{fg}$  se provede hledáním vzájemné korelační funkce  $R_{fg}$ . Jelikož se nejedná o centrované vzorky boční polohy vozidla  $y_i$ , korelační funkce bude nabývat pouze kladných hodnot pro vzdálenostní posunutí  $\tau$ . Sledovaným parametrem v této analýze je maximální hodnota vzájemné korelační funkce  $\max R_{fg}$ .

Maximální hodnota vzájemné korelační funkce  $\max R_{fg}$  koncentrovaných jízd  $f_K, g_K$  se pohybuje v intervalu hodnot  $\langle 0,9735; 0,9418 \rangle$ . Tyto hodnoty určují vysokou podobnost mezi dvěma koncentrovanými trajektoriemi  $f_K, g_K$ . Rozložení parametru  $\max R_{fg}$  je znázorněno na obrázku 4.12.

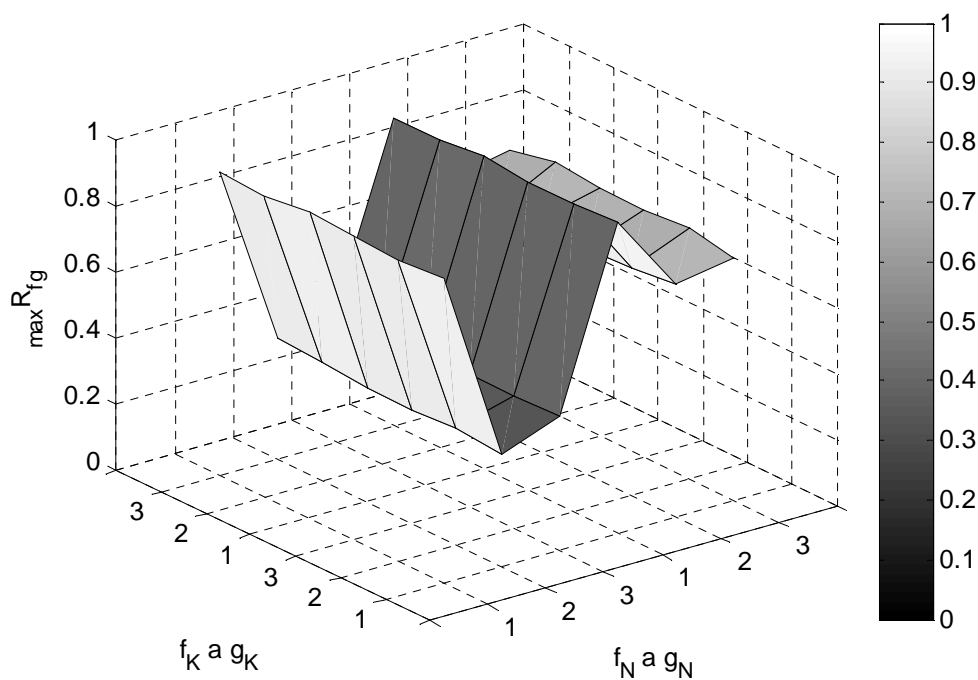


**Obrázek 4.12: Rozložení maxim korelačních funkcí  $\max R_{fg}$  mezi koncentrovanými jízdami  $f_K, g_K$  řidičů A a B.**

Při zkoumání podobnosti dané parametrem  $\max R_{fg}$  mezi nekoncentrovanými jízdami  $f_N, g_N$ , se hodnoty zmíněného parametru pohybují v rozmezí  $\langle 0,9157; 0,4132 \rangle$ . Rozložení parametru  $\max R_{fg}$  je znázorněno na obrázku 4.13. Lze říci, že čím více výjezdů obsahuje trajektorie nekoncentrované jízdy  $f_N, g_N$ , tím více klesá podobnost s koncentrovanými trajektoriemi jízd  $f_K, g_K$ , u kterých se nevyskytují výjezdy mimo jízdní pruh. Tento předpoklad je potvrzen rozložením maximální hodnoty korelační funkce  $\max R_{fg}$  při vzájemné podobnosti koncentrovaných trajektorií  $f_K, g_K$ , a nekoncentrovaných trajektorií  $f_N, g_N$ , viz obrázek 4.14. Hodnoty parametru  $\max R_{fg}$  se v tomto případě pohybují v intervalu  $\langle 0,9481; 0,3402 \rangle$ . Parametr maximální hodnoty vzájemné korelace  $\max R_{fg}$ , lze využít při segmentaci trajektorie a následnému detekování nekoncentrovaného segmentu obsahujícího výjezd.



Obrázek 4.13: Rozložení maxim korelačních funkcí  $\max R_{fg}$  mezi nekonzentrovanými jízdami  $f_N, g_N$  řidičů A a B.



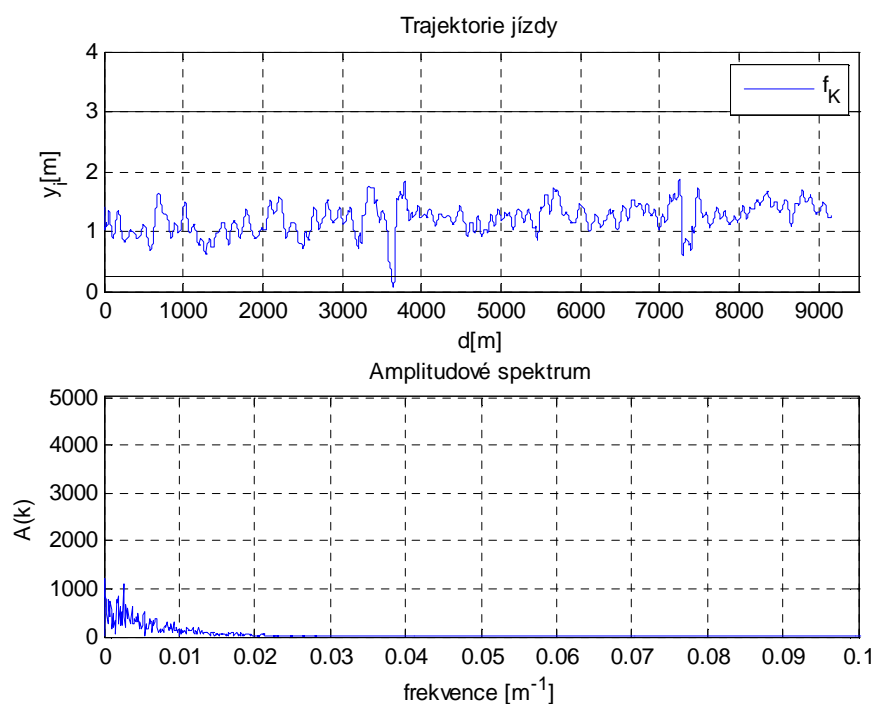
Obrázek 4.14: Rozložení maxim korelačních funkcí  $\max R_{fg}$  mezi nekonzentrovanými  $f_N, g_N$  a koncentrovanými  $f_K, g_K$  jízdami řidičů A a B.

### 4.1.3 Spektrální analýza kompletních jízd

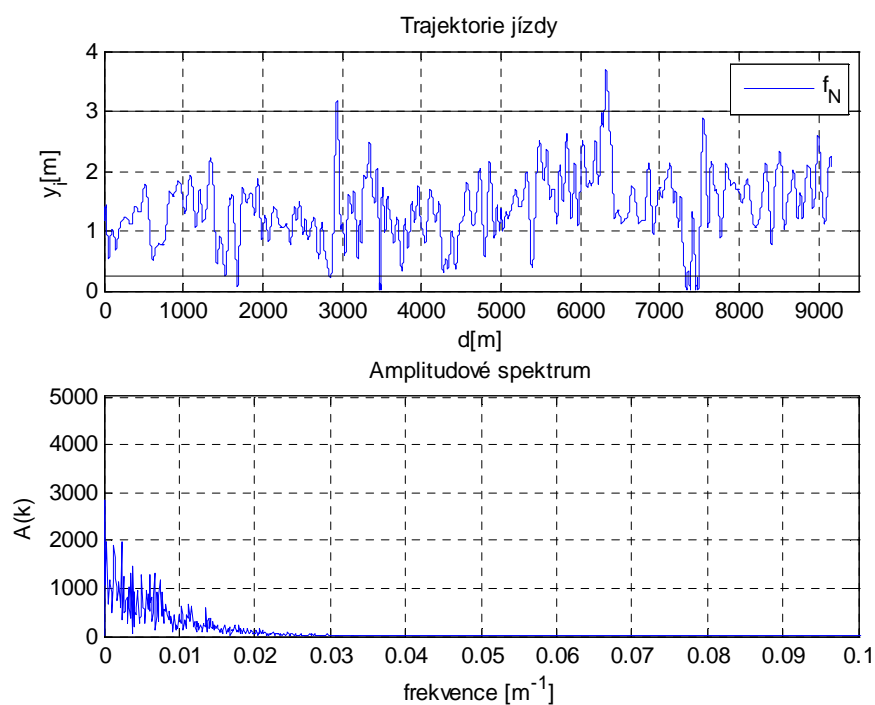
U spektrální analýzy se vybraná analyzovaná trajektorie rozloží na  $k$  frekvenčních složek. Postupně se rozloží do amplitudového frekvenčního spektra  $A(k)$  vybrané trajektorie koncentrovaných jízd  $f_K, g_K$ , a vybrané trajektorie nekoncentrovaných jízd  $f_N, g_N$ . Trajektorie o konečném  $N$  počtu bočních poloh vozidla vzhledem ke krajní čáře  $y_i$  se rozloží do oblasti  $k$ -tých frekvenčních složek podle vzorce (3.11). Parametrem pro určení rozdílů koncentrovaných  $f_K, g_K$ , a nekoncentrovaných  $f_N, g_N$  trajektorií jízd je výkon  $P_L$ . Kde  $L$  značí počet  $k$ -tých frekvenčních složek, ze kterých se výkon  $P_L$  počítá. Výkon  $P_L$  se určí podle vzorce (3.14).

Při provedení frekvenčních analýz vybraných trajektorií, se do výsledných amplitudových frekvenčních spekter  $A(k)$  nezapočítává stejnosměrná složka bočních poloh vozidla  $y_i$ . Při spektrální analýze je odstraněna. Stejnosměrnou složku tvoří střední hodnota  $\mu_y$  boční polohy vozidla  $y_i$ . Výsledné amplitudové frekvenční spektrum  $A(k)$  jízdy koncentrovaného řidiče  $f_K, g_K$ , obsahuje amplitudové složky s nižšími hodnotami amplitud než frekvenční spektrum  $A(k)$  jízdy nekoncentrovaného řidiče  $f_N, g_N$ . Na obrázku 4.15 je jedno z amplitudových frekvenčních spekter  $A(k)$  koncentrovaného řidiče A. Ve spektru  $A(k)$  se objevují frekvenční složky až do  $k$ -té složky o hodnotě  $0.02\text{m}^{-1}$ . Při rozlišení frekvenčních složek  $\Delta f = 1/(NT) = 1/(22920 \cdot 0.4) = 109 \cdot 10^{-6}\text{m}^{-1}$ .

Pro stejného řidiče A je provedena spektrální analýza nekoncentrovaných jízd  $f_N$ . Amplitudové spektrum  $A(k)$  této trajektorie jízdy je na obrázku 4.16. Na tomto obrázku je zřetelně vidět výraznějších hodnot amplitud  $A(k)$  jednotlivých složek spektra. Z výsledků vyplývá pro řidiče A a jeho trajektorie koncentrovaných  $f_K$  a nekoncentrovaných  $f_N$  jízd, že dochází k rozdílu amplitud frekvenčních složek  $A(k)$ . Výsledkem spektrální analýzy je zjištění, že u řidiče A je možno pomocí velikosti amplitudových složek spektra  $A(k)$  určit nekoncentrovanou jízdu  $f_N$ . Tímto je možné zavést parametr výkonu  $P_L$  amplitudového spektra  $A(k)$ , pro konkrétní počet frekvenčních složek  $L$ .



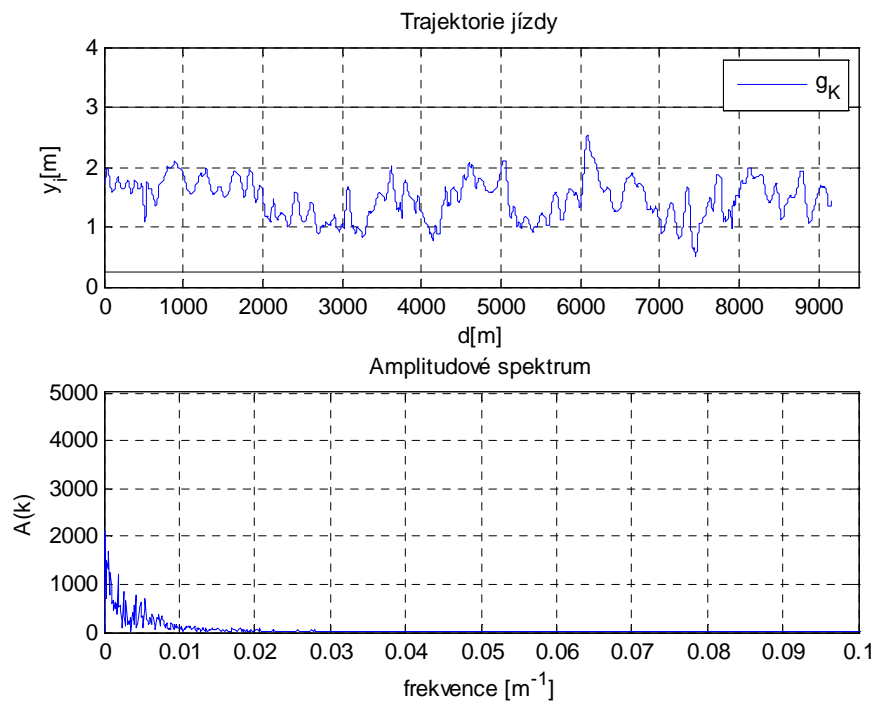
Obrázek 4.15: Trajektorie koncentrované jízdy  $f_K$  řidiče A a její amplitudové spektrum  $A(k)$ .



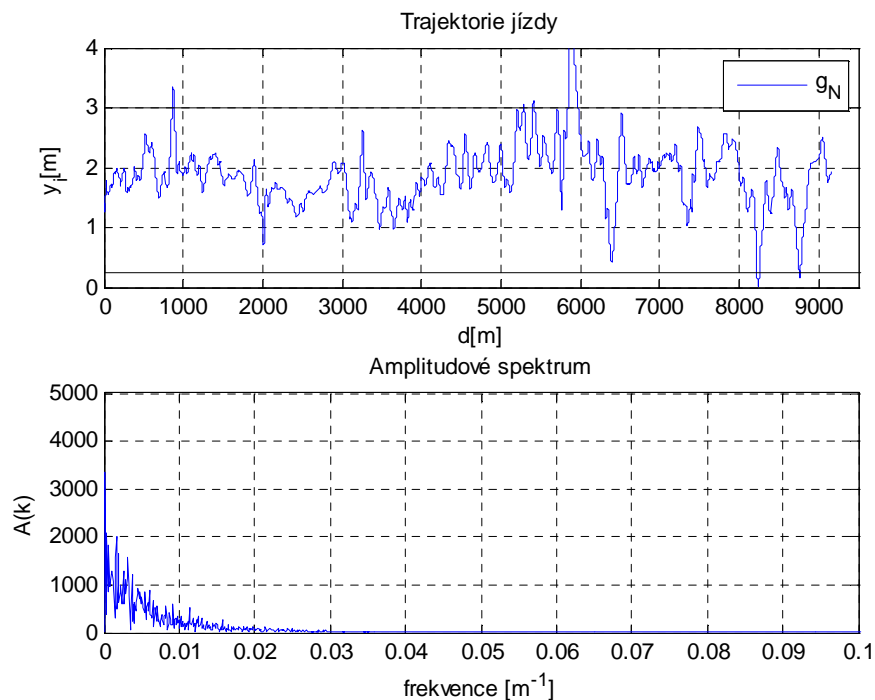
Obrázek 4.16: Trajektorie nekoncentrované jízdy  $f_N$  řidiče A a její amplitudové spektrum  $A(k)$

Spektrální analýza se provede i u řidiče B pro jeho koncentrovanou trajektorii jízdy  $g_K$  a nekoncentrovanou trajektorii jízdy  $g_N$  a ověří se rozdílnost velikostí amplitudových složek spektra  $A(k)$ . Výsledky vybrané koncentrované  $g_K$  a

nekoncentrované  $g_N$  trajektorie jízdy řidiče B jsou zobrazeny na obrázku 4.17 a obrázku 4.18. Amplitudové spektrum  $A(k)$  řidiče B, opět vykazovalo vyšší hodnoty amplitud u složek spektra nekoncentrované trajektorie  $g_N$ .



**Obrázek 4.17: Trajektorie koncentrované jízdy řidiče B a její amplitudové spektrum.**



**Obrázek 4.18: Trajektorie nekoncentrované jízdy řidiče B a její amplitudové spektrum.**



Pro parametrické vyjádření rozdílů velikostí amplitud mezi jednotlivými spektry  $A(k)$  je vypočten výkon  $P_L$  konečného počtu složek  $L$ . Vzhledem k předešlým zjištěním ohledně vyšších hodnot amplitud  $A(k)$  u nekoncentrovaných trajektorií  $f_N, g_N$ , se zjistí vliv počtu složek  $L$  při určování výkonu  $P_L$ . Výkon  $P_L$  se určí sumací složek zjištěného výkonového spektra  $S(k)$  pomocí rovnice (3.15). Výkonové spektrum  $S(k)$  se vypočte z amplitudového frekvenčního spektra  $A(k)$  dosazením do rovnice (3.16). Pro výpočet výkonu  $P_L$  se volí postupně  $L=50, 75, 100, 125$ . Hodnoty zjištěného výkonu  $P_L$  jsou shrnuty do tabulky Tabulka 4.4. Příklad určení výkonu  $P_{50}$  koncentrované jízdy  $f_K$  řidiče A podle vzorce (3.16) je

$$P_{50} = \sum_{k=0}^{L-1} S(k) = \sum_{k=0}^{50-1} S(k) = 2,2135 \cdot 10^4 \doteq \underline{2,2 \cdot 10^4}.$$

Z hodnot výkonu  $P_L$  uvedených v tabulce 4.4 vyplývá, že volený počet složek  $L$  výkonového spektra  $S(k)$  nemá významný vliv na rozlišení koncentrované trajektorie jízdy  $f_K, g_K$  od nekoncentrované trajektorie jízdy  $f_N, g_N$ .

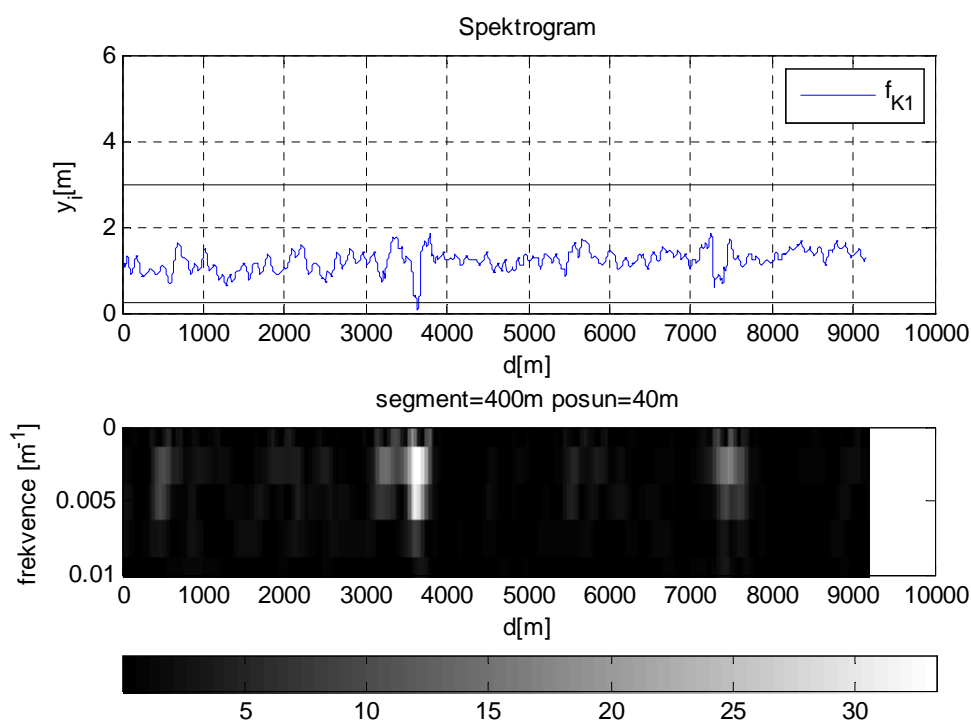
**Tabulka 4.4: Výkon  $P_L$  amplitudových spekter  $A(k)$  vybraných trajektorií jízdy pro zvolený počet složek  $L$  spektra.**

	Koncentrovaná jízda		Nekoncentrovaná jízda	
řidič	A	B	A	B
$P_{50}$ $L=50$	$2,2 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^4$	$4,5 \cdot 10^4$	$4,7 \cdot 10^4$
	$2,9 \cdot 10^4$	$2,8 \cdot 10^4$	$1,9 \cdot 10^6$	$2,2 \cdot 10^5$
	$2,9 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^4$	$6,3 \cdot 10^5$	$1,8 \cdot 10^5$
$P_{75}$ $L=75$	$2,7 \cdot 10^4$	$3,2 \cdot 10^4$	$6,2 \cdot 10^4$	$5,8 \cdot 10^4$
	$3,6 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^6$	$2,4 \cdot 10^5$
	$3,8 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^4$	$7,0 \cdot 10^5$	$2,2 \cdot 10^5$
$P_{100}$ $L=100$	$3,1 \cdot 10^4$	$3,5 \cdot 10^4$	$7,1 \cdot 10^4$	$6,4 \cdot 10^4$
	$3,9 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^5$
	$4,4 \cdot 10^4$	$4,1 \cdot 10^4$	$7,3 \cdot 10^5$	$2,3 \cdot 10^5$
$P_{125}$ $L=125$	$3,4 \cdot 10^4$	$3,7 \cdot 10^4$	$7,9 \cdot 10^4$	$6,8 \cdot 10^4$
	$4,1 \cdot 10^4$	$4,0 \cdot 10^4$	$2,1 \cdot 10^6$	$2,6 \cdot 10^5$
	$4,7 \cdot 10^4$	$4,4 \cdot 10^4$	$7,5 \cdot 10^5$	$2,4 \cdot 10^5$

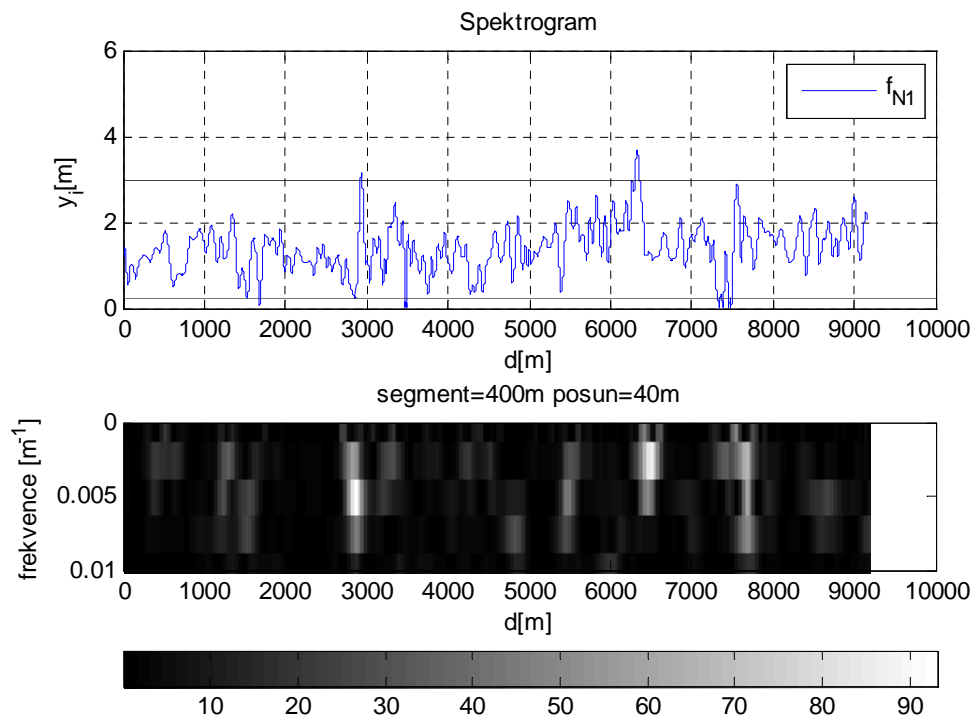
Předešlé spektrální analýzy určily výskyt vyšších hodnot amplitudových složek spekter  $A(k)$ , nekoncentrovaných kompletních jízd  $f_N, g_N$  oproti koncentrovaným kompletním jízdám  $f_K, g_K$ . Parametrem rozlišujícím hodnoty složek amplitudového spektra  $A(k)$  je zvolen výkon  $P_L$ . Tento výkon  $P_L$  je určen z výkonového spektra  $S(k)$  sumou konkrétního počtu složek  $L$  pro kompletní trajektorii. Pro určení obsahu

amplitudových složek výkonového spektra  $S(k)$  v rámci jízdní trajektorie v konkrétních úsecích, slouží spektrogram, viz kapitola 3.2.2. Na obrázku 4.19 je zobrazen spektrogram koncentrované trajektorie jízdy  $f_K$  řidiče A. Místa v trajektorii jízdy  $f_K$  která mají charakter výjezdu, jsou ve spektrogramu zvýrazněna bílou plochou. Značí to vyšší hodnoty amplitudových složek spektra  $A(k)$ . U nekonzentrované trajektorie jízdy  $f_N$  řidiče A je výskyt bílých ploch ve spektrogramu častější, viz obrázek 4.20. Je to dáno větším výskytem charakteristických výjezdů v trajektorii jízdy  $f_N$  které obsahují vyšší hodnoty amplitudových složek spektra  $A(k)$ .

Při následném segmentování trajektorie jízdy lze využít zjištěných vlastností vyšších hodnot amplitud spektra  $A(k)$  při úseku obsahující výjezd. Parametrem rozlišujícím velikosti amplitudových složek spektra  $A(k)$  je výkon  $P_L$ . Parametrem  $P_L$  lze rozlišit mezi koncentrovanou trajektorií jízdy  $f_K$ ,  $g_K$ , a nekonzentrovanou trajektorií jízdy  $f_N$ ,  $g_N$ . Stejná vlastnost platí pro výkon  $P_L$  pro krátké úseky, jak ukázaly spektrogramy na obrázcích 4.19 a 4.20. Další zpracované spektrogramy pro vybrané trajektorie jízdy  $f_K$ ,  $g_K$ ,  $f_N$ ,  $g_N$ , jsou uvedeny v příloze A.



Obrázek 4.19: Spektrogram koncentrované trajektorie jízdy  $f_K$  řidiče A.



Obrázek 4.20: Spektrogram nekoncentrované trajektorie jízdy  $f_N$  řidiče A.

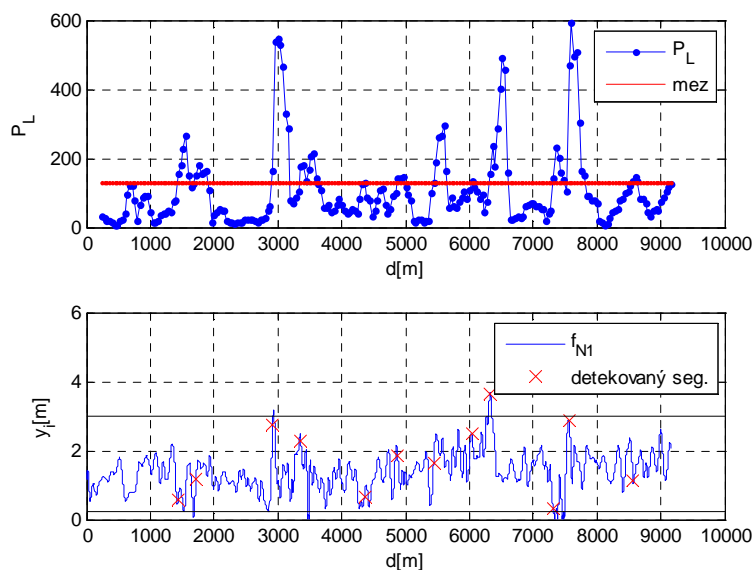
## 4.2 Segmentace jízd

Analýzy kompletních trajektorií vybraných jízd, provedené v kapitole 4.1, ukázaly na některé parametry, které svou hodnotou rozlišují, zda se jedná o trajektorii koncentrované jízdy  $f_K$ ,  $g_K$  nebo nekoncentrované jízdy  $f_N$ ,  $g_N$ . Pro využití těchto parametrů k nalezení výjezdů, se trajektorie jízdy rozdělí na segmenty o konstantní délce  $D$ . Segmenty se, pro lepší rozlišení v ujeté vzdálenosti  $d$ , budou posouvat o hodnotu  $K$ . U vzniklých segmentů, se vypočte hodnota zvoleného parametru. Průběh konkrétního parametru se sleduje v odpovídající ujeté vzdálenosti  $d$ . V průběhu se hledá závislost mezi boční polohou vozidla  $y_i$  značící výjezd mimo jízdní pruh a velikostí parametru.

Pro segmentování vybraných trajektorií je vytvořen v programovém prostředí Matlab programový skript, ve kterém lze nastavovat požadovanou délku segmentu  $D$  a posun mezi dvěma po sobě jdoucími segmenty  $K$ . V následujících zpracováních je nastavena konstantní délka segmentu  $D=240\text{m}$  při posunutí mezi jednotlivými segmenty  $K=40\text{m}$ . V následujícím zpracování se neuvažuje zpoždění výsledku hledaného parametru vlivem výpočetní náročnosti při určování hodnoty tohoto parametru. [8]

K určení vztahu mezi hodnotou zvoleného parametru a výjezdem v trajektorii jízdy je vytvořen programový skript, kde vstupní hodnotou je vybraná trajektorie jízdy sestávající z boční polohy vozidla  $y_i$ , která se následně segmentuje na zvolenou délku  $D$

a zvolený posun  $K$ . Ve vytvořeném skriptu se simuluje detekce výjezdů u vstupní trajektorie tak, že se v trajektorii jízdy vyznačí koncový bod detekovaného segmentu. Detekovaným segmentem je ten, u kterého charakteristický parametr překročí uživatelem nastavenou mez. Detekuje se pouze segment s hodnotou parametru nad vyznačenou mezí, následující po segmentu s hodnotou parametru pod vyznačenou mezí. Na obrázku 4.21 je znázorněno zobrazení detekování výjezdu pomocí parametru výkonu  $P_L$ .



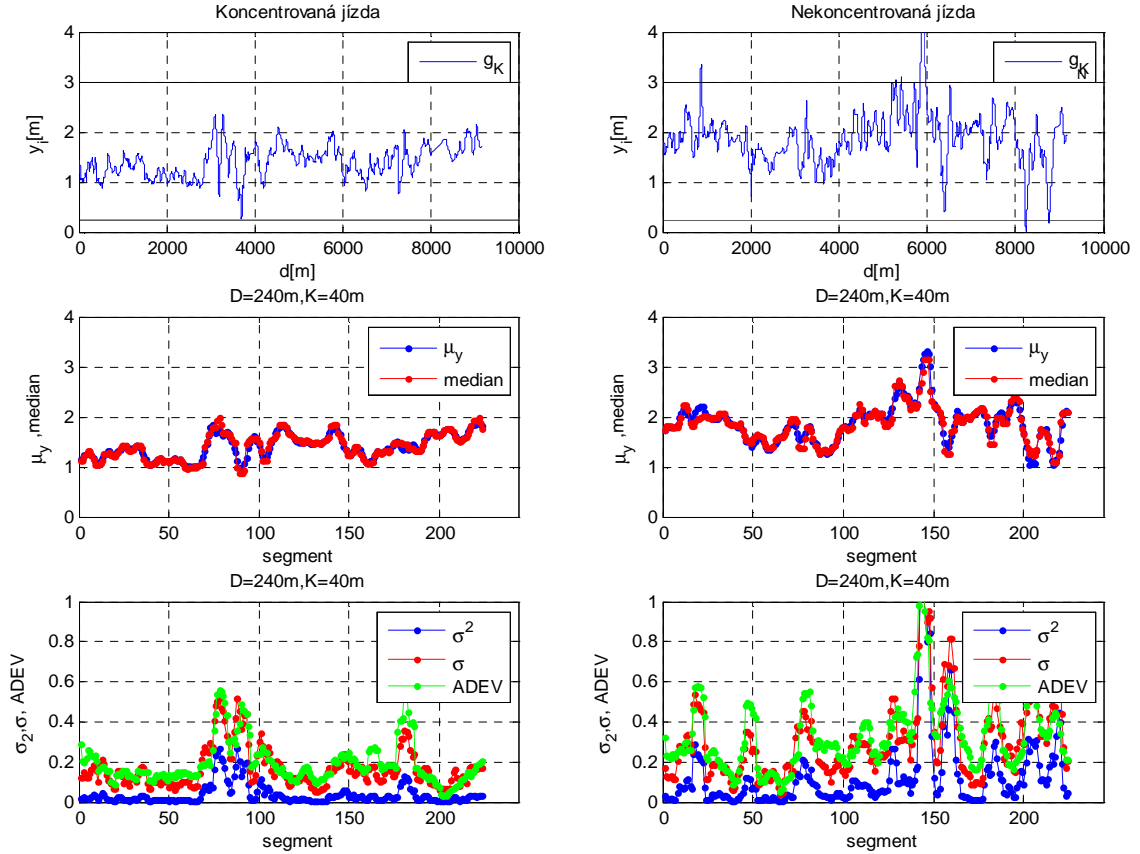
**Obrázek 4.21:** Ukázka detekce segmentů s výjezdem pomocí výkonu  $P_L$  v nekoncentrované jízdě  $f_N$  řidiče B.

### 4.2.1 Statistické zpracování segmentování

Výpočty vybraných charakteristických numerických hodnot pro jednotlivé segmenty je možné mezi sebou porovnávat s pomocí k tomu vytvořenému skriptu. Na obrázku 4.22 je srovnání průběhů segmentů charakterizovaných střední hodnotou  $\mu_y$ , mediánem  $\tilde{y}$ , rozptylem  $\sigma_y^2$ , směrodatnou odchylkou  $\sigma_y$  a Allanovou odchylkou  $ADEV_y$  u vybrané trajektorie koncentrované jízdy  $g_K$  a nekoncentrované jízdy  $g_N$ .

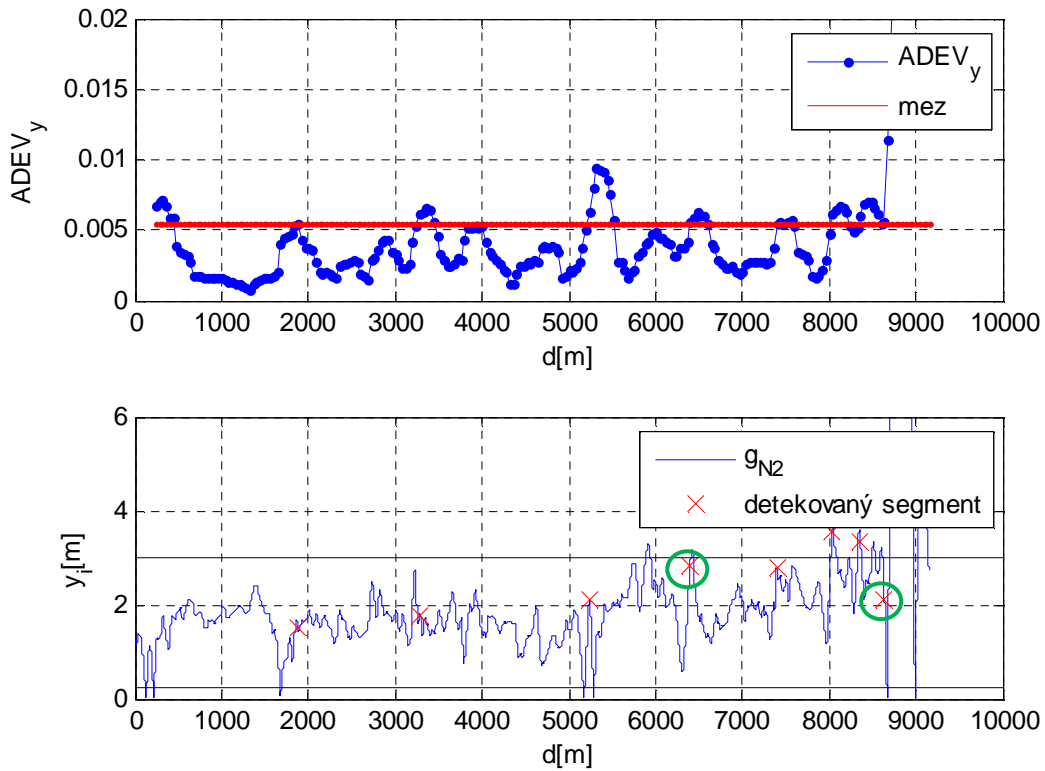
Při segmentaci vybraných trajektorií jízdy, se u průběhů segmentů se střední hodnotou  $\mu_y$  a mediánem  $\tilde{y}$  zjišťuje, že se podobají vyhlazeným průběhům zkoumaných trajektorií jízdy. Velikosti těchto parametrů při provádění segmentaci sledují tzv. trend segmentované trajektorie jízdy. Parametry segmentů střední hodnota  $\mu_y$  a medián  $\tilde{y}$  svým průběhem nevykazují známky schopnosti detekování výjezdů. Dochází spíše k vyhlazování výjezdů obsažených v trajektorii jízdy. Obrázek 4.22 zobrazuje průběh střední hodnoty  $\mu_y$  a mediánu  $\tilde{y}$  u segmentů vzniklých z koncentrované  $g_K$  a nekoncentrované  $g_N$  trajektorie jízdy.

Vhodnějších vlastností při sledování výjezdů v nekoncentrovaných trajektoriích jízdy  $f_N$ ,  $g_N$ , dosahují rozptyl  $\sigma_y^2$ , směrodatná odchylka  $\sigma_y$  a Allanova odchylka  $ADEV_y$ . Vzhledem k matematickému propojení směrodatné odchylky  $\sigma_y$  s rozptylem  $\sigma_y^2$  se v dalším zpracování použije jen směrodatné odchylky  $\sigma_y$ .



**Obrázek 4.22: Numerické statistické charakteristiky pro segmentaci koncentrované  $g_K$  a nekoncentrované  $g_N$  jízdy řidiče B.**

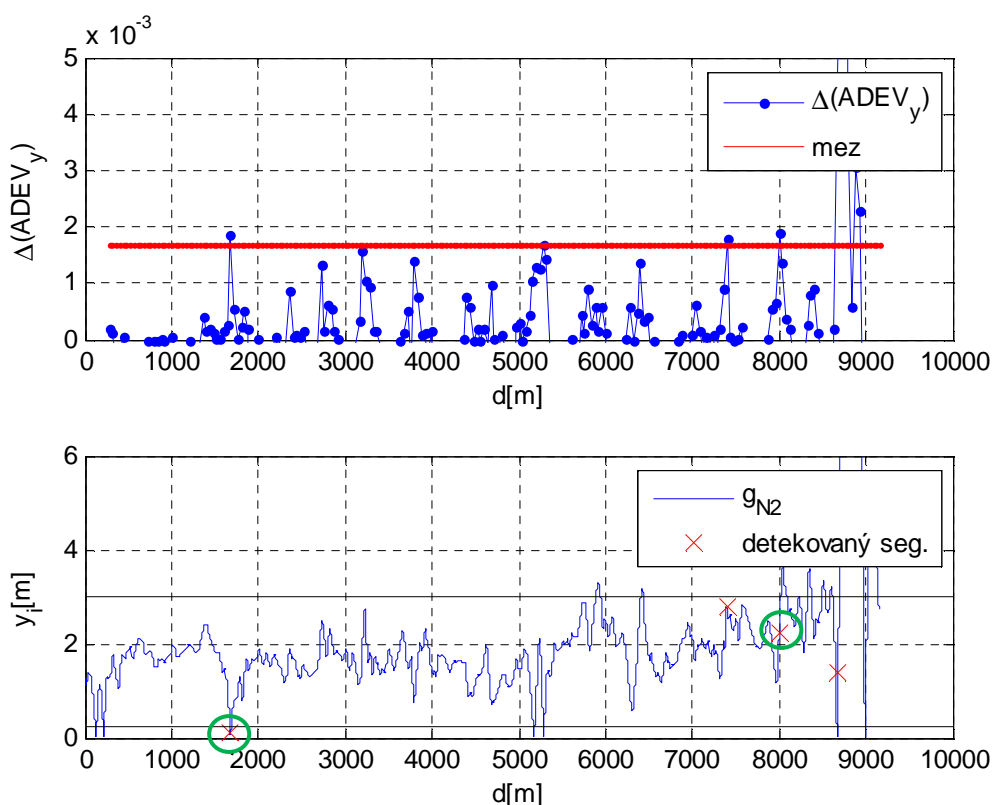
Na obrázku 4.23 je grafické znázornění detekování výjezdů v segmentech pomocí sledovaného parametru Allanovy odchylky  $ADEV_y$ . Lze vidět úspěšné detekování dvou segmentů s výjezdy, u kterých by došlo k zastavení řidiče před opuštěním jízdního pruhu. Správně detekovaný výjezd je označen zeleným kruhem. Správně detekovány výjezdy se nachází v ujeté vzdálenosti  $d \approx 6500m$  a  $d \approx 8700m$ . Další segmenty jsou označeny chybně. Trajektorie jízdy nekoncentrovaného řidiče  $g_{N2}$  v těchto místech neobsahuje žádné výjezdy a i přesto jsou zde vyznačeny koncové body detekovaných segmentů. Nastavení meze určuje, u které hodnoty Allanovy odchylky  $ADEV_y$  dojde k označení segmentu. Obdobně se při detekci výjezdů jeví i směrodatná odchylka  $\sigma_y$ .



**Obrázek 4.23: Detekce segmentů s výjezdem pomocí Allanovy odchylky  $ADEV_y$  v nekoncentrované jízdě  $g_{N2}$  řidiče B.**

U klasické Allanovy odchylky  $ADEV_y$  nedochází k přesnému detekování segmentu obsahujícího kritickou boční polohu vozidla  $y_i$  v nekoncentrované trajektorii jízdy  $g_{N2}$ . U sledování průběhu segmentů s Allanovou odchylkou  $ADEV_y$ , viz obrázek Obrázek 4.23 se v některých místech velké difference sousedních hodnot Allanových odchylek  $ADEV_y$  vyskytují segmenty s výjezdy. Novým parametrem může být modifikace Allanovy odchylky  $ADEV_y$  na míru změny dvou sousedních hodnot Allanových odchylek  $ADEV_y$ .

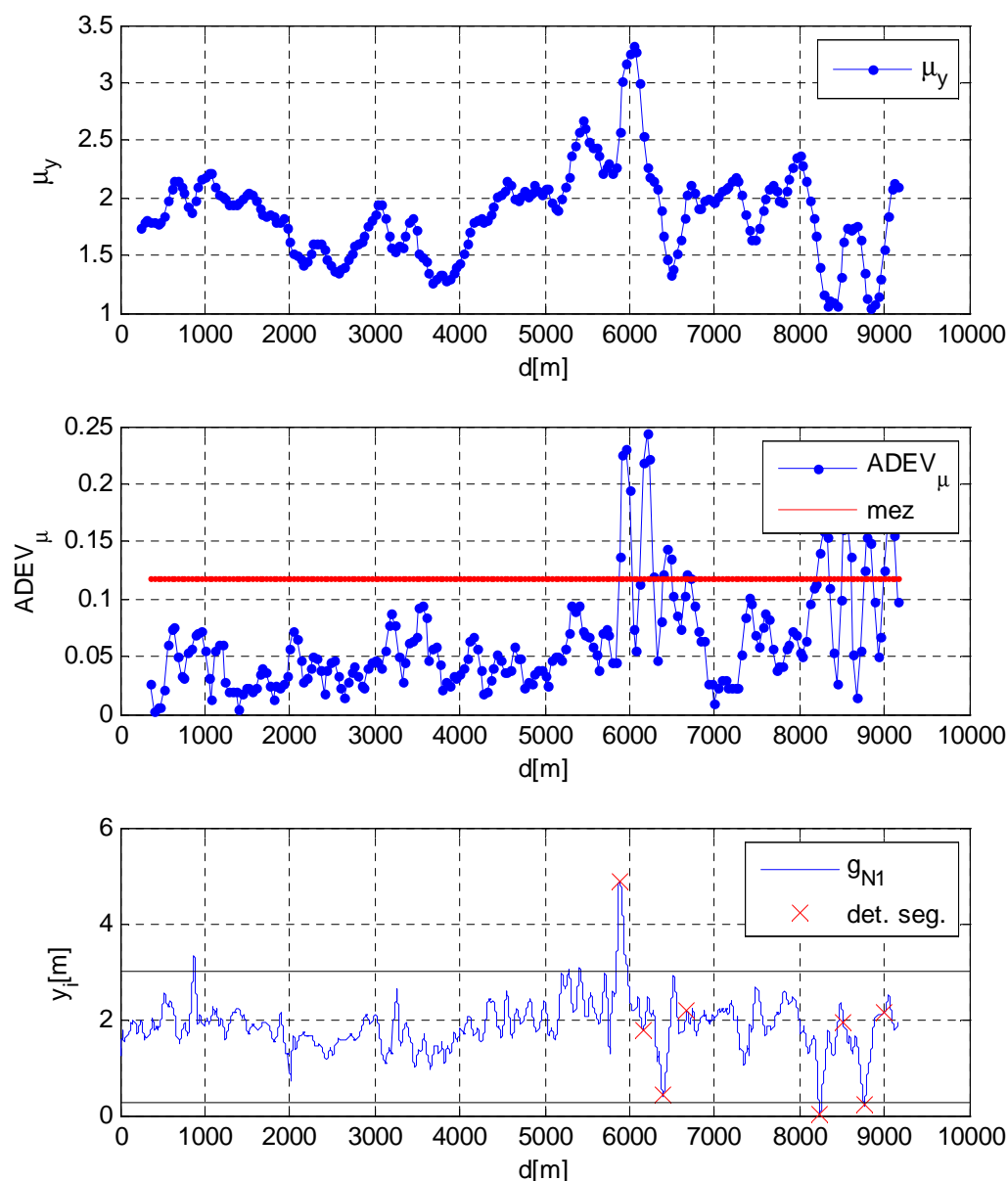
Dalším parametrem pro určení segmentu s výjezdem může být míra kladné difference  $\Delta(x)$  konkrétního parametru  $x$ . Provede se testování detekce výjezdů s pomocí míry difference Allanovy odchylky  $\Delta(ADEV_y)$ . Na obrázku 4.24 je zobrazení testované nekoncentrované trajektorie jízdy  $g_{N2}$  řidiče B pomocí míry difference Allanovy odchylky  $\Delta(ADEV_y)$ . Výsledkem jsou dva správně detekované segmenty s výjezdem označené zeleným kroužkem. Oproti detekování segmentů s výjezdy Allanovou odchylkou  $ADEV_y$  jsou detekce mírou rozdílu Allanovy odchylky  $\Delta(ADEV_y)$  rychlejší, při správném označení segmentu s výjezdem.



**Obrázek 4.24: Detekce segmentů s výjezdem pomocí míry kladné difference Allanovy odchylky  $\Delta(ADEV_y)$  v nekoncentrované jízdě  $g_{N2}$  řidiče B.**

Zkoušené parametry Allanova odchylka  $ADEV_y$  a míra změny Allanovy odchylky  $\Delta(ADEV_y)$ , vykazují mírnou závislost na vyskytujících se výjezdech mimo jízdní pruh. Ovšem dochází i k chybnému detekování segmentů, které neobsahovaly výjezdy.

Pro vylepšení schopnosti detekce výjezdů pomocí Allanovy odchylky  $ADEV_y$  se vyzkouší kombinace Allanovy odchylky  $ADEV_y$  a střední hodnoty  $\mu_y$ . Jedná se sledování Allanovy odchylky  $ADEV_y$  pro segmenty se střední hodnotou  $\mu_y$ . V programovém prostředí Matlab je vytvořen skript pro tuto kombinaci. U segmentů zkoumaných nekoncentrovaných trajektorií jízd  $f_N$ ,  $g_N$  obsahujících výjezdy se určí střední hodnota  $\mu_y$ . Následně se ze zvoleného počtu segmentů určí Allanova odchylka  $ADEV_\mu$ . Detekce výjezdů v nekoncentrované trajektorii jízdy  $g_N$  Allanovou odchylkou  $ADEV_\mu$  je na obrázku 4.25. Při testování i jiných vybraných nekoncentrovaných trajektorií jízd docházelo k velkým chybám při detekování výjezdů anebo vůbec nedocházelo k detekci výjezdů. Z výsledků těchto testů vyplývá, že kombinace Allanovy odchylky  $ADEV_\mu$  ze středních hodnot  $\mu_y$  nevykazuje zlepšení detekce výjezdů. Allanova odchylka  $ADEV_y$  je vhodnějším parametrem při detekování výjezdů v trajektoriích nekoncentrovaných jízd  $f_N, g_N$ .



**Obrázek 4.25: Detekce segmentů s výjezdem pomocí střední hodnoty  $\mu_y$  a následně Allanovy odchylky  $ADEV_\mu$  v nekoncentrované jízdě  $g_{N1}$  řidiče B.**

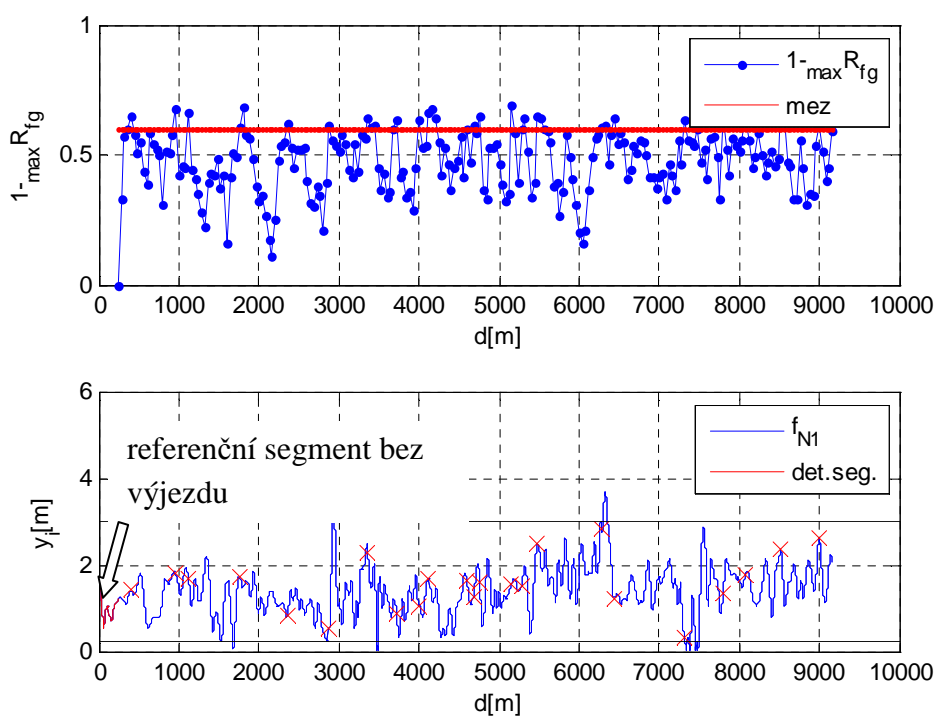
Při možnosti segmentování nekoncentrované trajektorie jízdy  $f_N$ ,  $g_N$ , řidiče se vytvořily skripty pro možnost testování schopnosti vybraných statistických parametrů k detekování výjezdů. Výsledky ukázaly malou závislost mezi správně detekovanými výjezdy a hodnotou vybraného parametru. Střední hodnota  $\mu_y$  a medián  $\tilde{y}$  se ukázaly jako nevhodné parametry při hledání výjezdů pomocí segmentace nekoncentrovaných trajektorií jízd  $f_N$ ,  $g_N$ . Rozptyl  $\sigma_y^2$  byl z testovaných parametrů vynechán vzhledem k jeho souvislosti se směrodatnou odchylkou  $\sigma_y$ . Dalšími zkoumanými parametry byly směrodatná odchylka  $\sigma_y$  a Allanova odchylka  $ADEV_y$ . Oba parametry dosahovaly obdobných výsledků.



U rozpoznání výjezdu v segmentu pomocí některého z parametrů je důležitá volba meze. Hodnota byla vždy uživatelsky volena tak, aby došlo k detekování některého z výjezdů a sledovalo se, jak se detekovaly ostatní výjezdy v segmentované trajektorii nekoncentrovaných jízd  $f_N$ ,  $g_N$ . Při sledování průběhů hodnot parametrů u jednotlivých segmentů se využilo modifikace Allanovy odchylky  $ADEV_y$  na kladnou změnu mezi sousedními hodnotami Allanových odchylek  $\Delta(ADEV_y)$ . Tento parametr také prokázal mírnou závislost na výskytu segmentů obsahujících výjezd v trajektoriích nekoncentrovaných jízd  $f_N$ ,  $g_N$ . Další zpracované detekce pro vybrané trajektorie jízd  $f_K$ ,  $g_K$ ,  $f_N$ ,  $g_N$ , jsou uvedeny v příloze A.

### 4.2.2 Korelační zpracování segmentace

Analýza kompletních trajektorií jízd, viz kapitola 4.1.2, svým výsledkem určila korelační koeficient  $\rho_{fg}$  jako nevhodný parametr pro rozlišení mezi koncentrovanou trajektorií  $f_K$ ,  $g_K$  a nekoncentrovanou trajektorií  $f_N$ ,  $g_N$  jízdy. Parametr, který by mohl vypovídat o výskytu výjezdu v nekoncentrované trajektorii  $f_N$ ,  $g_N$  je maximální hodnota vzájemné korelační funkce  $\max R_{fg}$ . Využije se segment koncentrované trajektorie jízdy  $f_K$ ,  $g_K$ , nebo segment nekoncentrované jízdy  $f_N$ ,  $g_N$ , bez výjezdu, pro který se následně určí hodnota maximální vzájemné korelace  $\max R_{fg}$  se segmenty nekoncentrované trajektorie jízdy  $f_N$ ,  $g_N$ . Znázorněná detekce výjezdů v nekoncentrované trajektorii jízdy  $f_{N1}$  je na obrázku 4.26.

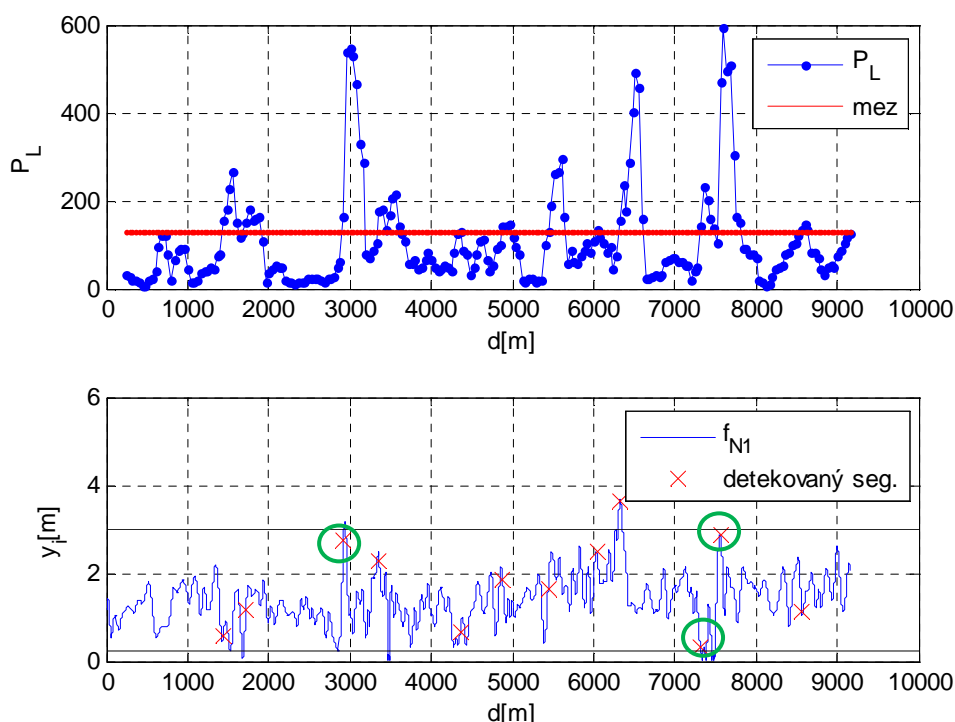


**Obrázek 4.26:** Detekce segmentů s výjezdem pomocí maxima vzájemné korelace  $\max R_{fg}$  referenčního segmentu bez výjezdu se segmenty nekoncentrované jízdy  $f_{N1}$  řidiče A.

Pro detekování výjezdů se průběh parametr  $\max R_{fg}$  upraví na  $1 - \max R_{fg}$ . Výsledky vlastností parametru maxima vzájemné korelace  $\max R_{fg}$  segmentu bez výjezdu a nekoncentrované trajektorie jízdy  $f_{N1}$  neodpovídají detekování výjezdů. Průběh parametru  $\max R_{fg}$  zcela neodpovídá výskytu výjezdů v nekoncentrované trajektorii jízdy  $f_N, g_N$ . Některé další vybrané trajektorie jízd pro detekci pomocí parametru  $\max R_{fg}$  jsou uvedeny v příloze A.

### 4.2.3 Spektrální zpracování segmentace

Ze spektrální analýzy kompletní trajektorie jízd, uvedené v kapitole 3.2.1, je pro rozlišení mezi koncentrovanou  $f_K, g_K$  a nekoncentrovanou  $f_N, g_N$  jízdou vybrán parametr výkonu  $P_L$ . Výkon  $P_L$  je určen pro konečný počet složek  $L$  amplitudového spektra  $|Y(k)|$ . Při segmentování je výkon  $P_L$  segmentu určen pro  $L=N$ , kde  $N$  je počet všech amplitudových složek spektra  $|Y(k)|$ . Z provedených spektrogramů v kapitole 4.1.3 je zjištěno, že segmenty s výjezdy obsahují větší amplitudové složky spektra  $|Y(k)|$ , než segmenty bez výjezdů. Na obrázku 4.27 je znázorněna detekční schopnost parametru  $P_L$  segmentů s výjezdy v nekoncentrované trajektorii jízdy  $f_{N1}$ . Došlo k úspěšnému zachycení tří segmentů s výjezdy. Na obrázku 4.27 jsou označené v zelených kroužcích. Další vybrané trajektorie nekoncentrovaných jízd  $f_N, g_N$  a jejich detekování segmentů s výjezdy je uvedeno v příloze A. Výkon  $P_L$  velmi dobře detekuje segmenty obsahující plynulé změny boční polohy vozidla  $y_i$  v jednom směru.



Obrázek 4.27: Detekce segmentů s výjezdem pomocí výkonu  $P_L$  amplitudových složek frekvenční charakteristiky v nekoncentrované jízdě  $f_{N1}$  řidiče A.

## 5 APLIKAČNÍ UŽITÍ IDENTIFIKÁTORŮ VÝJEZDŮ

V kapitole 4.2 se hledaly v nekoncentrovaných trajektoriích jízdy segmenty s kritickou boční polohou vozidla  $y_i$ . Využilo se segmentování kompletní trajektorie jízdy a následovalo určení hodnot navrhnutých charakteristických parametrů z kapitol 3.1 a 3.2 pro tyto segmenty. Z výše provedených analýz v kapitole 4.2 nevyhovoval žádný z navrhnutých parametrů pro samostatné použití jako identifikátoru výjezdu. Allanova odchylka  $ADEV_y$  a výkon  $P_L$  amplitudových spekter  $|Y(k)|$  prokazovaly mírnější závislost na výskytu výjezdů v nekoncentrovaných trajektoriích jízdy  $f_N, g_N$ .

Využití těchto parametrů je v bezpečnostních systémech vozidel kontrolujících překročení některé z hranic jízdního pruhu vlivem nekoncentrované jízdy. Samostatně je však nelze jako parametru pro detekování této boční kritické polohy  $y_i$  využít. Je možné využít nalezení mírné závislosti Allanovy odchylky  $ADEV_y$  a výkonu  $P_L$  s kombinací dalších parametrů a vylepšit tak jejich možnou schopnost detekování kritických bočních poloh  $y_i$  vozidla.

Allanova odchylka  $ADEV_y$  znázorňuje v trajektorii jízdy stabilitu jízdy. Jejím použitím se nedosahuje přesného detekování přímo kritických bočních poloh vozidla  $y_i$  jak vyplynulo z kapitoly 4.2.1 ale dokázala svou hodnotou charakterizovat, jak moc se měnil styl jízdy v rámci segmentů. Aplikačně lze tohoto identifikátoru užít při analýze jízdy vozidla na závodním okruhu, v rámci zpětné vazby stylu jízdy řidiče v jednotlivých segmentech. Allanovu odchylku  $ADEV_y$  by bylo možno zapracovat do vyhodnocovacího softwaru jízdy řidiče vozidla na závodním okruhu viz obrázek 5.1.



Obrázek 5.1: Záznam softwarového prostředí kde lze srovnávat data segmentů trajektorie jízdy ze závodního okruhu [15].

Výkon  $P_L$  prokázal schopnost při detekci segmentů obsahující plynulé změny boční polohy vozidla  $y_i$  v jednom směru. S kombinací s dalšími možnostmi

parametrizovat výjezdy se ukazuje vhodným nástrojem při detekování výjezdů a následným užitím v detekčních systémech

## 6 ZÁVĚR

Diplomová práce se věnuje analýze jízdních dat, pro která se snaží nalézt parametry, které by tyto jízdy charakterizovaly a následně v těchto trajektoriích detekovaly kritickou polohu vozidla, jinak nazývanou jako výjezdy vně jízdní pruh. Jízdní trajektorie sestávají z koncentrovaných jízd a z nekoncentrovaných jízd. Nekoncentrované jízdy obsahují výjezdy, které se snažím pomocí navrhnutých parametrů detekovat. Výjezdy mimo jízdní pruh jsou výsledkem nekoncentrovaných jízd. Tyto jízdy jsou realizovány na dopravním simulátoru řízeným unavenými řidiči.

Navrhl jsem některé základní metody analýz dat, ke zjištění rozdílu v parametrech nekoncentrovaných a koncentrovaných trajektorií jízd. Získané poznatky o parametrech vycházejících z těchto analýz, jsou následně aplikovány na průběžné segmentování jednotlivých nekoncentrovaných trajektorií jízd obsahujících výjezdy. Navrhnuté parametry jsou testovány pro předcházení výjezdům a pro tento účel jsou tak i simulovány. Při segmentování, jsem dosáhl detekování segmentů obsahujících výjezdy mimo jízdní pruh s určitými výsledky u jednotlivých parametrů. Parametry, které dosahovali mírné závislosti na výskytu výjezdů v segmentech jsou Allanova odchylka  $ADEV_y$  a výkon  $P_L$  amplitudových spekter  $|Y(k)|$  jednotlivých segmentů. Samostatně se však pro detekci výjezdů nedají použít, lze je však využít při zapracování do složitějších algoritmů, které by mohly následně detekovat výjezdy vozidla a předcházet jim. Veškeré zpracování dat je řešeno navrženými skripty v programovém prostředí Matlab.

Nedostatkem dat pro zpracování bylo, že jízdní trajektorie nekoncentrovaných jízd obsahovaly kromě krátkých výjezdů vlivem ztráty koncentrace i extrémně dlouhé výjezdy vzniklé usnutím řidiče. Bez dalších externích zásahů pokračoval řidič ve výjezdu a trajektorie následně obsahovala extrémní výjezd. Pokusem pro získání vhodnějších dat nekoncentrovaných trajektorií jízd s výjezdy, je omezit rozsah bočních poloh vozidla do konkrétního tolerovaného pole. Překročení hranice pole, by bylo detekováno např. zvukovým signálem pro uvedení řidiče zpět ke koncentrované jízdě. Výsledkem by byly vhodnější jízdní trajektorie pro analýzu a detekování výjezdů. Neobsahovaly by extrémy v podobě dlouhodobých výjezdů.

## 7 LITERATURA

- [1] UHLÍŘ, Jan; SOVKA, Pavel. *Číslicové zpracování signálů*. 2.přepřacované vydání. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2002. 327 s. ISBN 80-01-02613-2.
- [2] SMUTNÝ, Jaroslav ; PAZDERA, Luboš . *Časově frekvenční analýza reálných signálů*. 1.vydání. Brno : ECON publishing, 2003. 191 s. ISBN 80-86433-23-4.
- [3] SEDLÁČEK, Miloš ; ŠMÍD, Radislav . *Matlab v měření*. Dotisk prvního vydání. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2003. 204 s. ISBN 80-01-02851-8.
- [4] ROGALEWICZ, Vladimír . *Pravděpodobnost a statistika pro inženýry*. první. Praha : Vydavatelství ČVUT, 1998. 178 s. ISBN 80-01-01740-0.
- [5] *Mikrospanky* [online]. 2011 [cit. 2011-04-08]. Laboratoře. Dostupné z WWW: <<http://www.mikrospanky.cz/laboratore.html>>. [webová stránka]
- [6] JAN, Jiří. *Číslicová filtrace, analýza a restaurace signálů*. 2.upravené a rozšířené vydání. Brno : VUTIUM, 2002. 427 s. ISBN 80-214-2911-9.
- [7] KOZUMPLÍK, Jiří; KOLÁŘ, Radim ; JAN, Jiří . *Číslicové zpracování signálů v prostředí Matlab* . první. Brno : Vysoké učení technické v Brně, Fakulta elektrotechniky a informatiky, Ústav biomedicínského inženýrství, 2001. 73 s. ISBN 80-214-1964-4.
- [8] KRAJČA, Vladimír ; MOHYLOVÁ, Jitka. *Číslicové zpracování neurofyziologických signálů*. 1.vydání. Praha : ČVUT, 2011. 167 s. ISBN 978-80-01-04721-7.
- [9] DAVÍDEK, Vratislav; SOVKA, Pavel. *Číslicové zpracování signálů a implementace*. 2.přepřacované. Praha : Vydavatelství ČVUT, 2002. 253 s. ISBN 80-01-02483-0.
- [10] *National Institute of Standards and Technology* [online]. 12.5.2010, 5.10.2010 [cit. 2011-04-10]. Time an Frequency from A to Z. Dostupné z WWW: <<http://www.nist.gov/pml/div688/grp40/glossary.cfm>>. [webová stránka]
- [11] NEVŘIVA, Pavel. *Analýza signálů a soustav*. 1.vydání. Praha : BEN, 2000. 671 s. ISBN 80-7300-004-0.
- [12] MELOUN, Milan; MILITKÝ, Jiří. *Statistická analýza experimentálních dat*. Praha : Academia, 2004. 954 s. ISBN 80-200-1254-0.
- [13] ZAPLATÍLEK, Karel; DOŇAR, Bohuslav. *MATLAB : začínáme se signály*. 1.vydání. Praha : BEN, 2006. 271 s. ISBN 80-7300-200-0.
- [14] MCBEATH, Simon. *Competition car data logging : A practical Handbook*. 2.vydání. Sparkford : Haynes Publishing, 2003. 158 s. ISBN 978-1-84425-565-8.

- [15] Online podpora Matlabu , [www.humusoft.cz](http://www.humusoft.cz) [cit. 15.5.2010]
- [16] PALENČÁR, R. – VDOLEČEK, F. – HALAJ, M.: *Nejistoty v měření I, II* soubor článků v časopise AUTOMA, č.7-8/2001, č.10/2001
- [17] *UMTRI* [online]. Michigan : The Regents of the University of Michigan, c2011 [cit. 2011-04-26]. Dostupné z WWW: <<http://www.umtri.umich.edu/news.php>>.

## Seznam zkratek a symbolů:

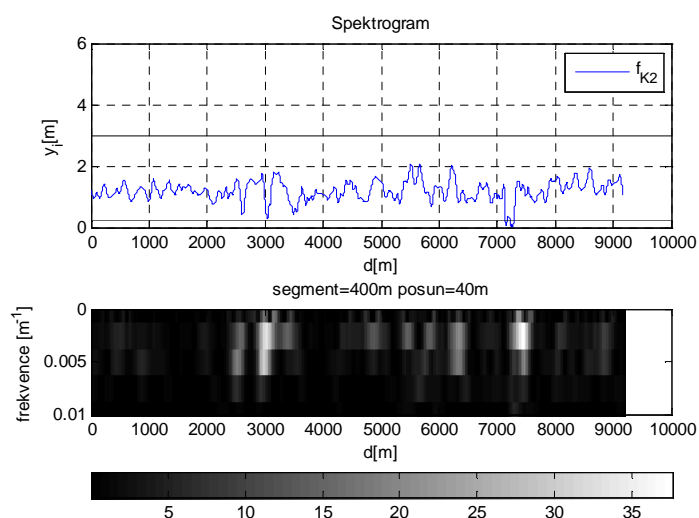
$d$	ujetá vzdálenost vozidla
$y_i$	boční poloha vozidla vzhledem ke krajní čáře
$T_{vz}$	vzorkovací perioda
$f_{vz}$	vzorkovací frekvence
$f_K$	koncentrovaná jízda řidiče A
$f_N$	nekoncentrovaná jízda řidiče A
$g_K$	koncentrovaná jízda řidiče B
$g_N$	nekoncentrovaná jízda řidiče B
$\Delta f$	rozdíl sousedních frekvenčních složek
$K$	počet tříd v rozdělení histogramu
$N$	konečný počet vzorků
$\mu_y$	střední hodnota boční polohy vozidla
$[m]$	jednotka metry
$ADEV_y$	Allanova odchylka
$\sigma_y$	směrodatná odchylka trajektorie boční polohy vozidla
$\sigma_y^2$	rozptyl trajektorie boční polohy
$\tilde{y}$	medián bočních poloh vozidla
$D$	délka jednoho segmentu v metrech
$K$	vzdálenost mezi dvěma po sobě jdoucími segmenty

$\rho_{fg}$	korelační koeficient
$\Delta(x)$	diference parametru x
$R_{fg}$	korelační vzájemná funkce
$R_{ff}$	autokorelační funkce
$C_{fg}$	kovarianční vzájemná funkce
$C_{ff}$	autokovarianční funkce
$P_L$	výkon konečného počtu složek L
L	volený počet složek amplitudového (výkonového) spektra
$A(k)$	amplitudové spektrum
$S(k)$	výkonové spektrum
$b_{min}$	spodní interval hodnot pro parametr x u nekoncentrované jízdy,
$b_{max}$	horní interval hodnot pro parametr x u nekoncentrované jízdy,
$a_{min}$	spodní interval hodnot pro parametr x u koncentrované jízdy,
$a_{max}$	horní interval hodnot pro parametr x u koncentrované jízdy,
k	diskrétní složky frekvenčního spektra

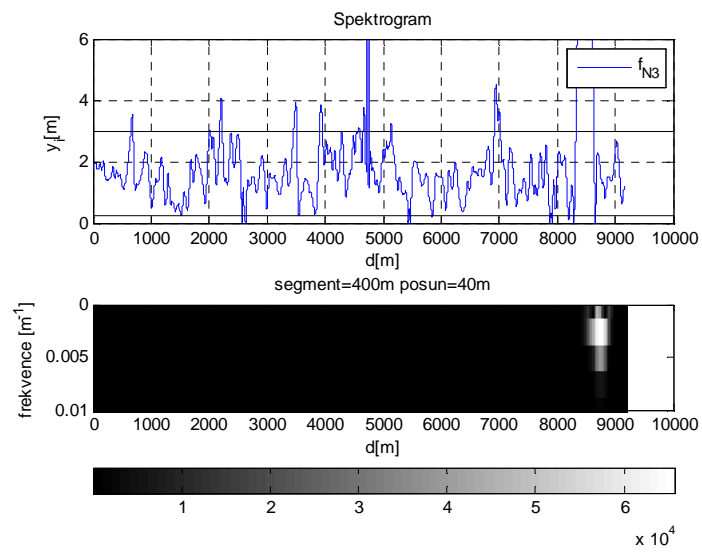
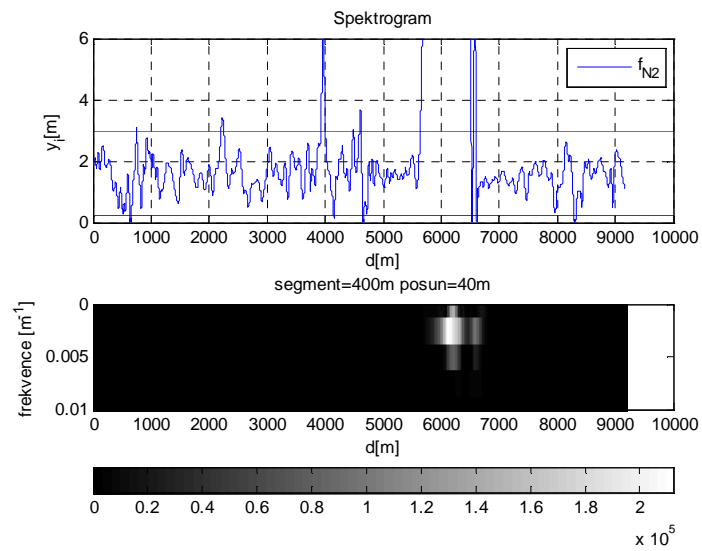
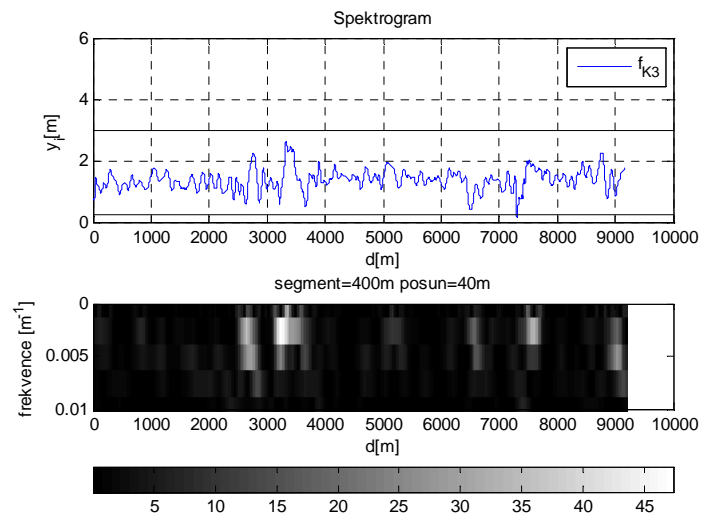
## Seznam příloh:

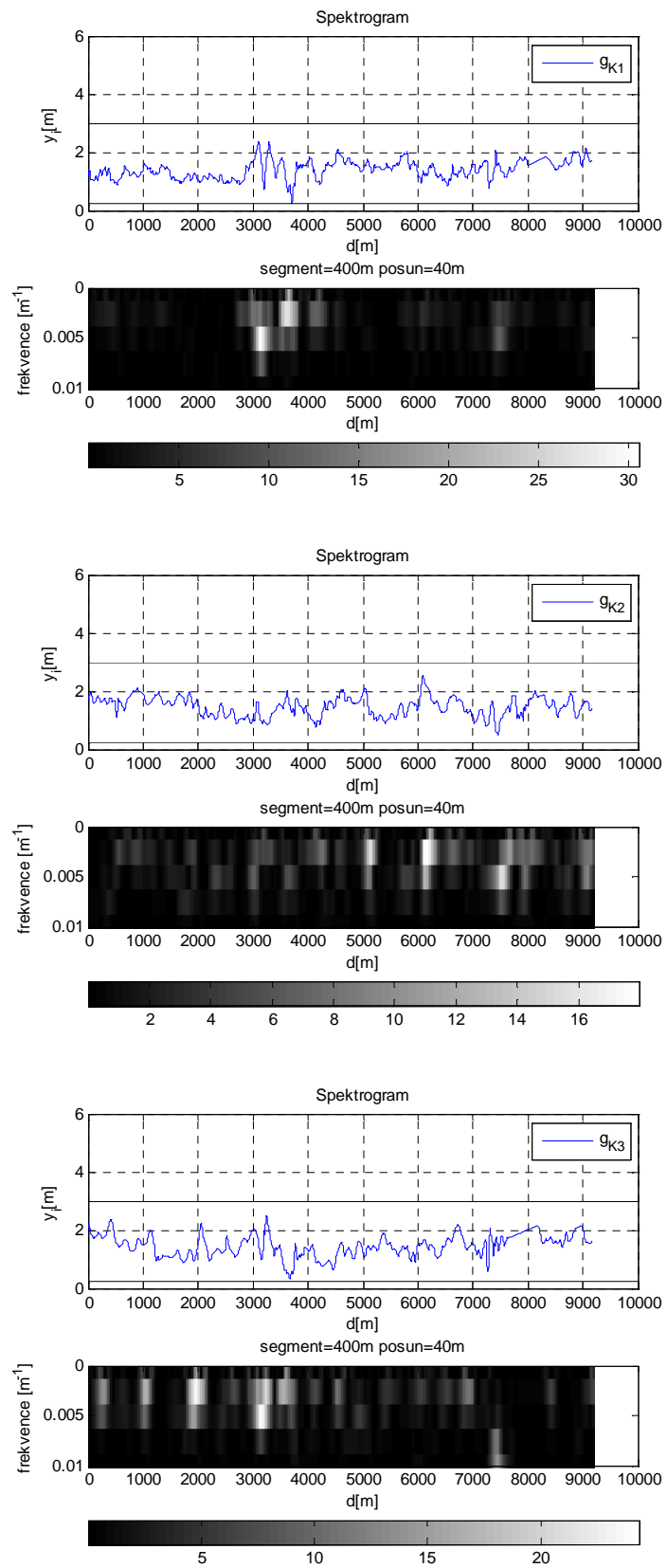
Příloha A:

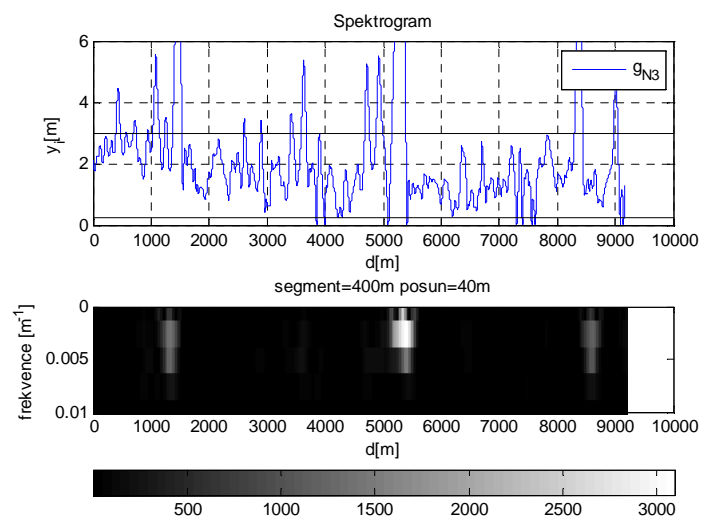
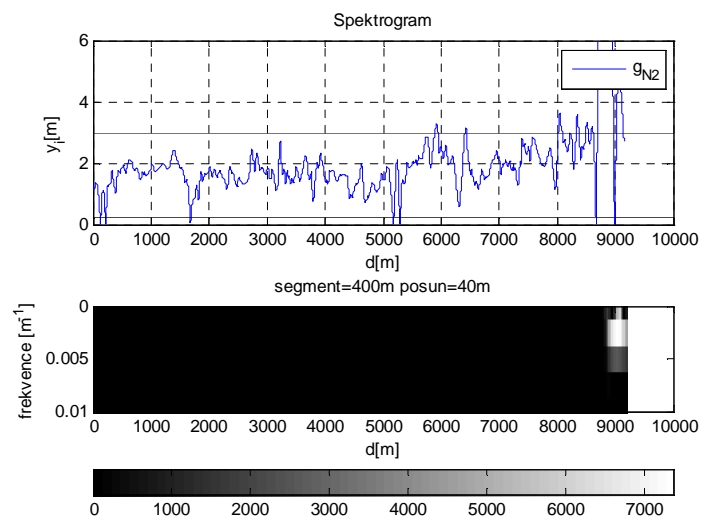
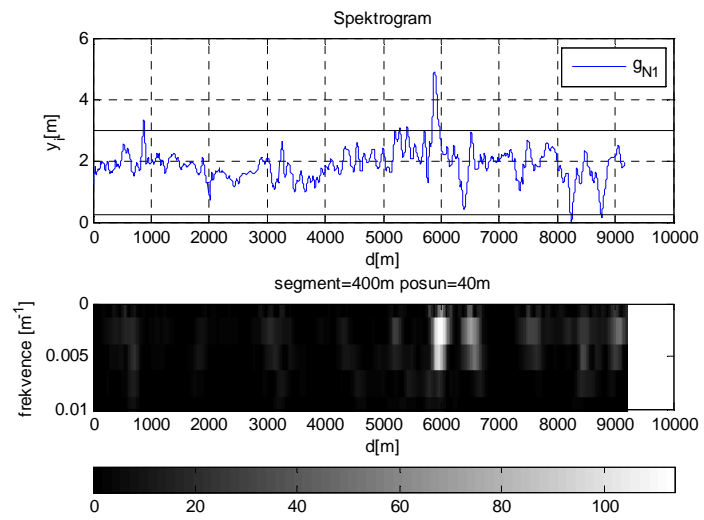
Spektrogramy vybraných trajektorií jízdy:



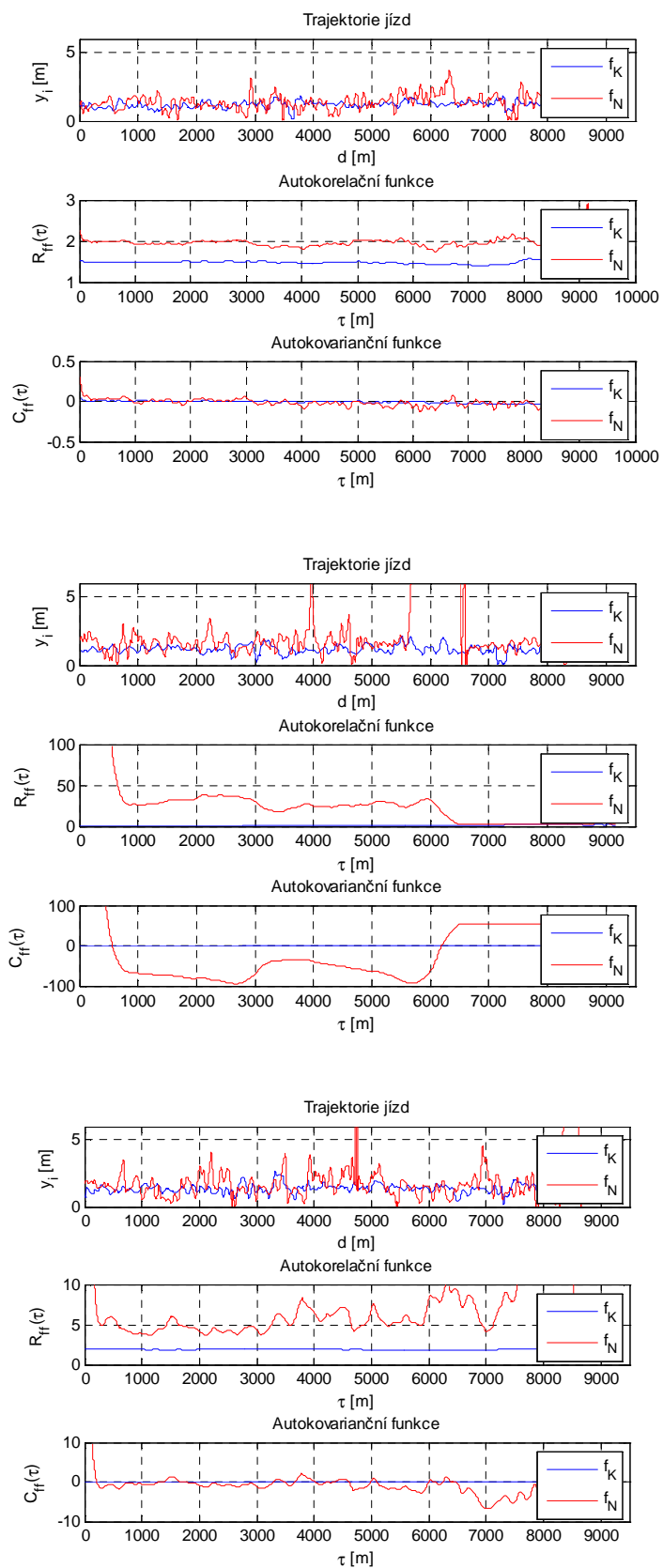


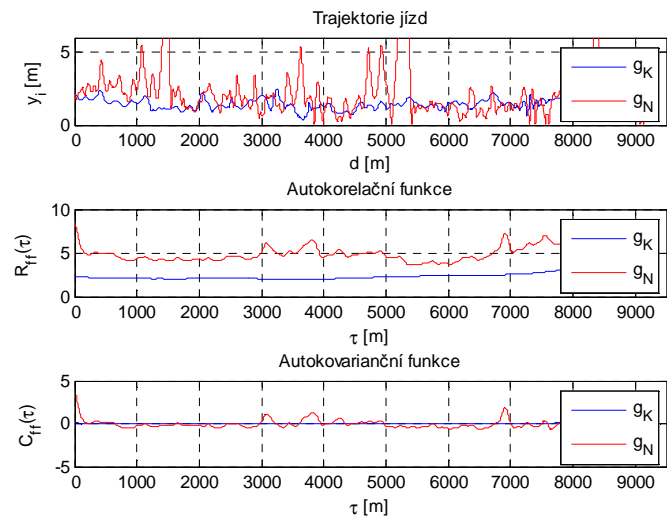
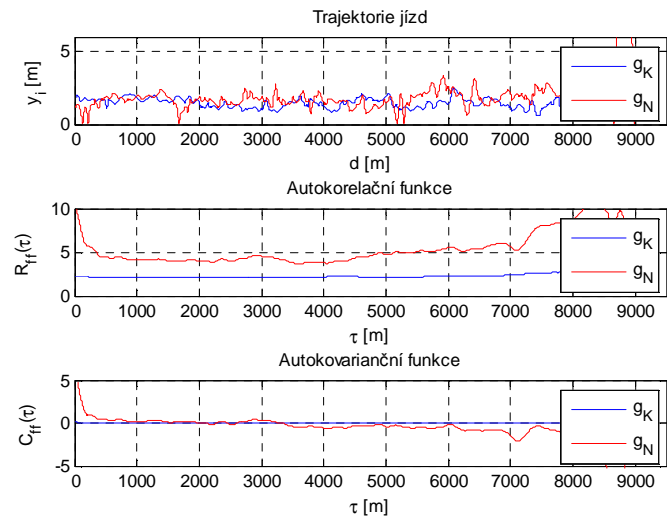
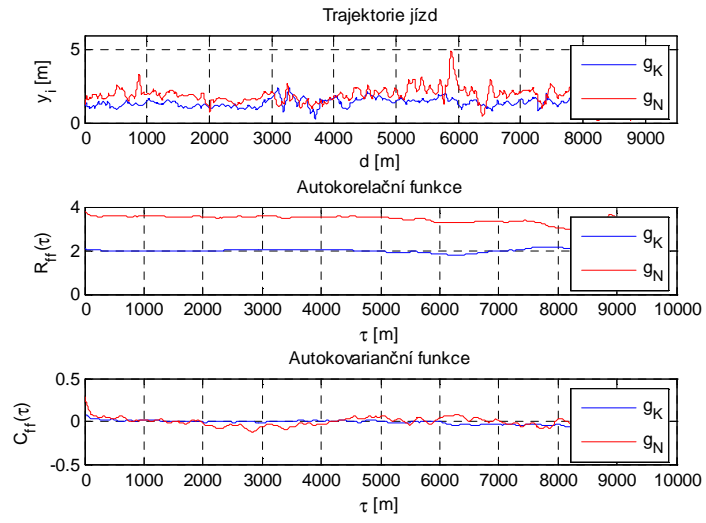




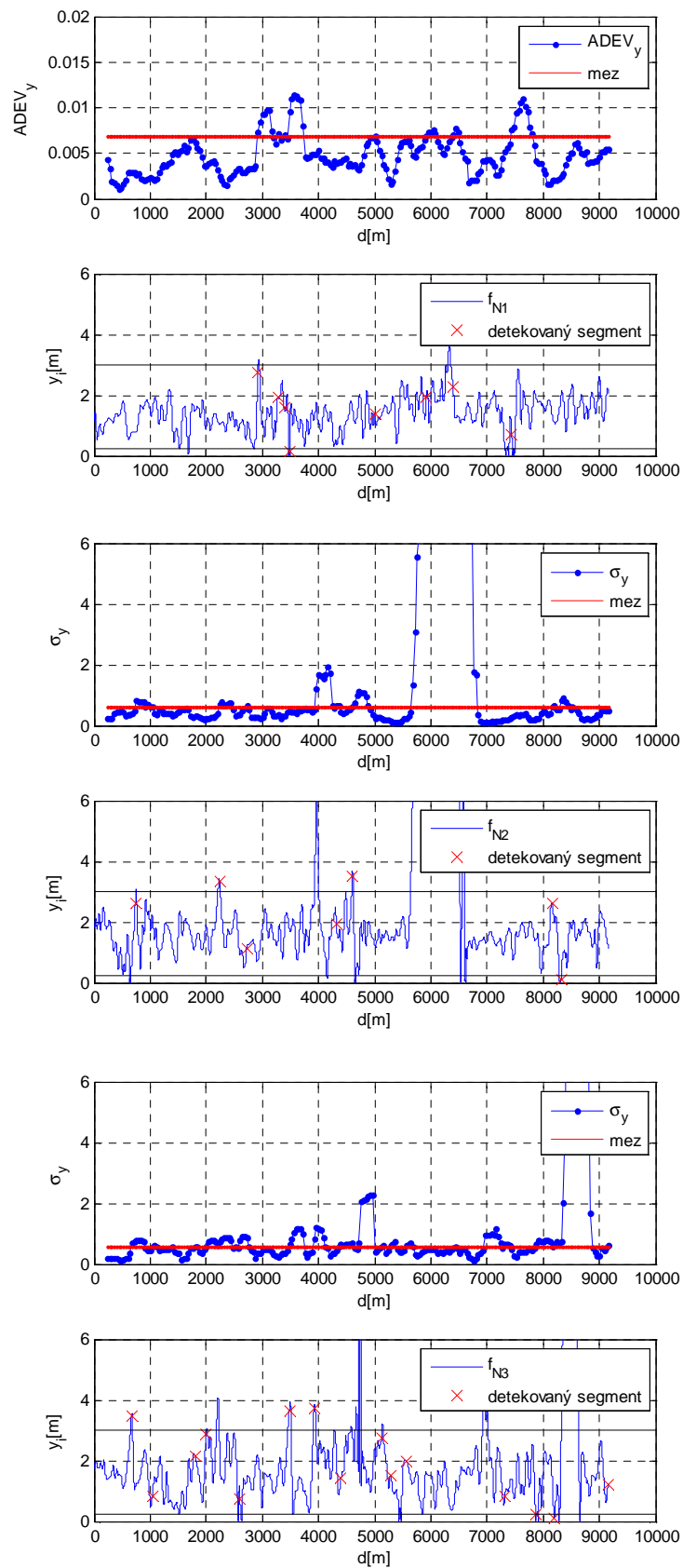


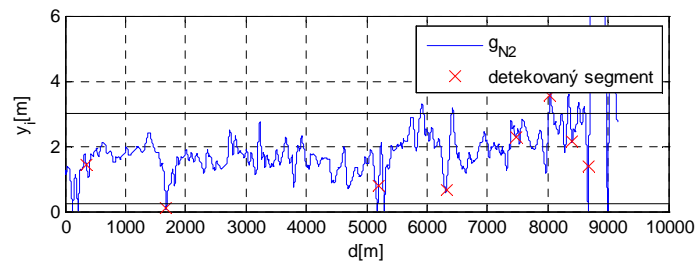
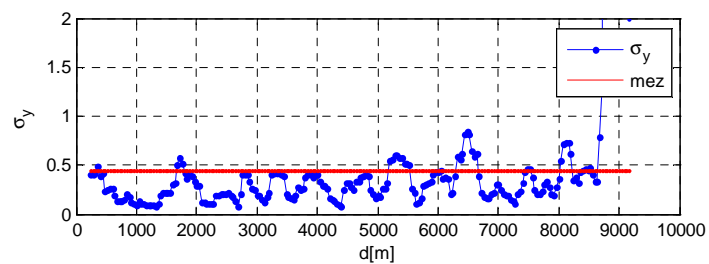
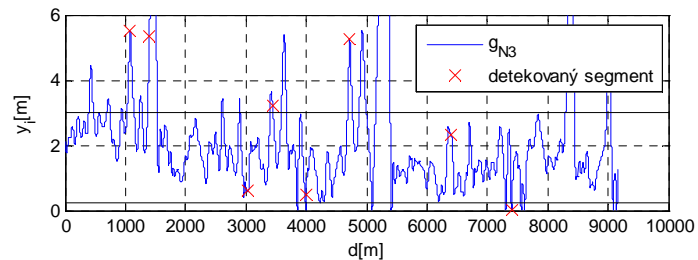
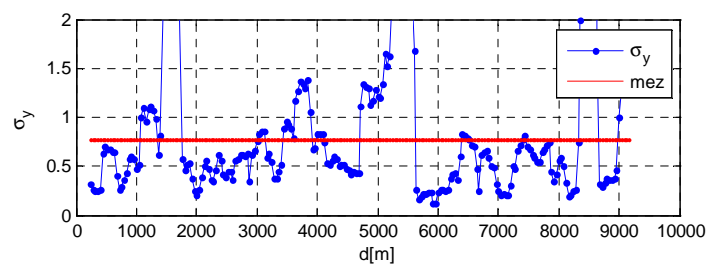
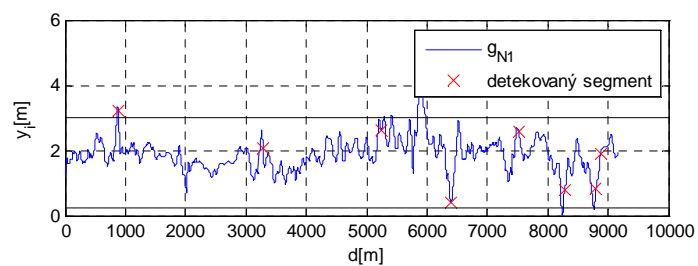
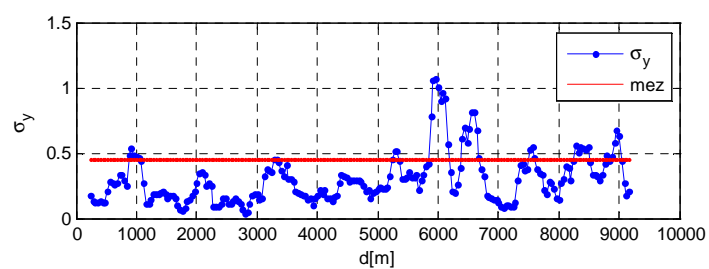
Autokorelační  $R_{ff}$  a autokovarianční  $C_{ff}$  funkce u vybraných trajektorií jízdy:

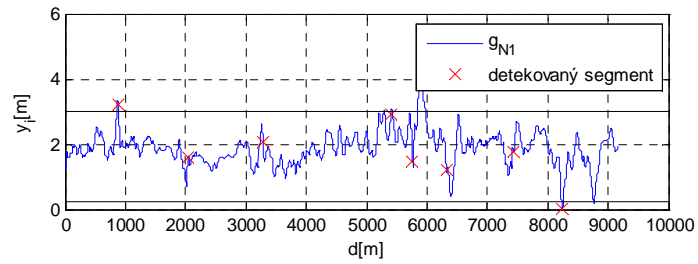
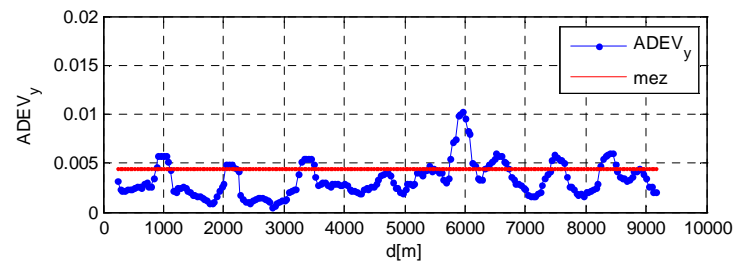
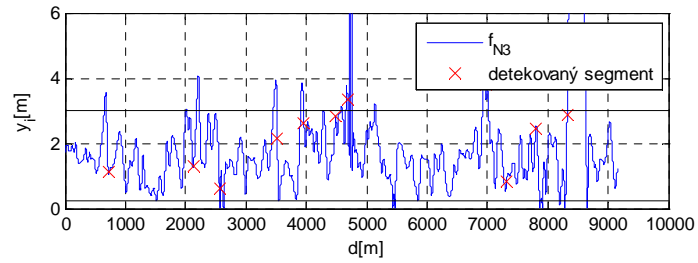
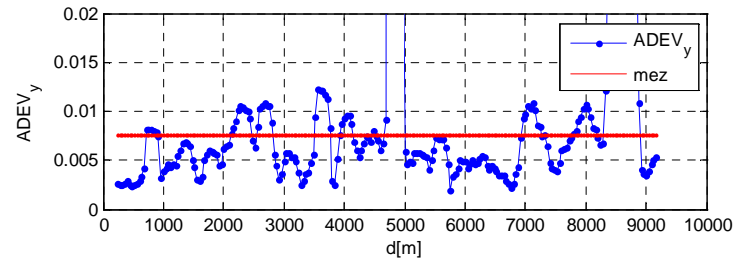
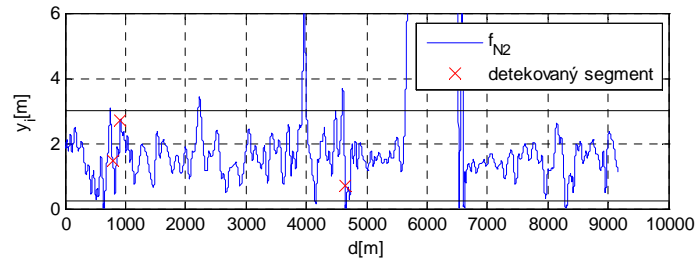
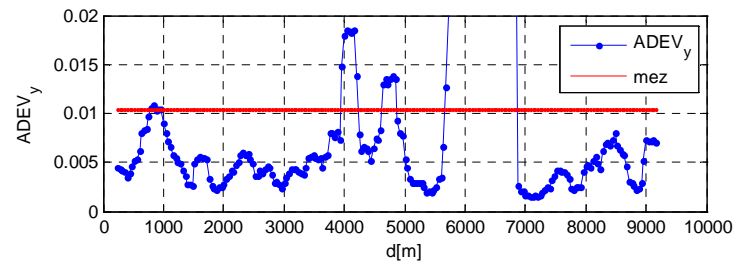




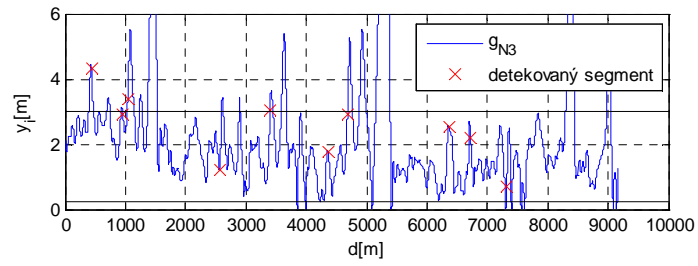
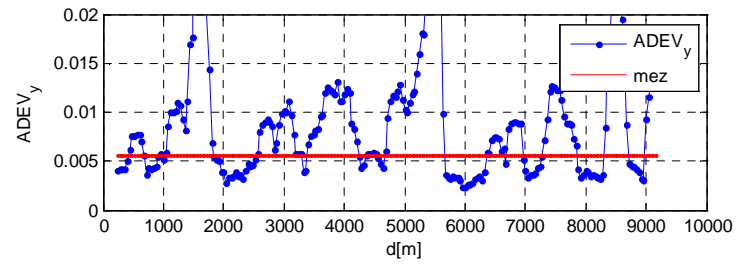
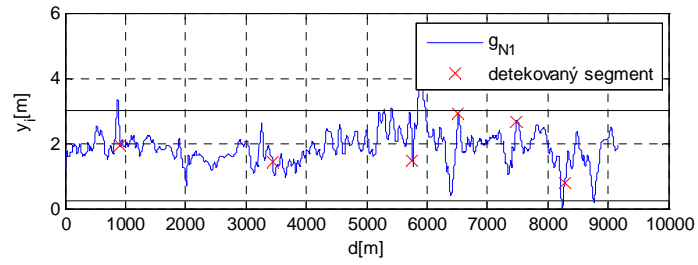
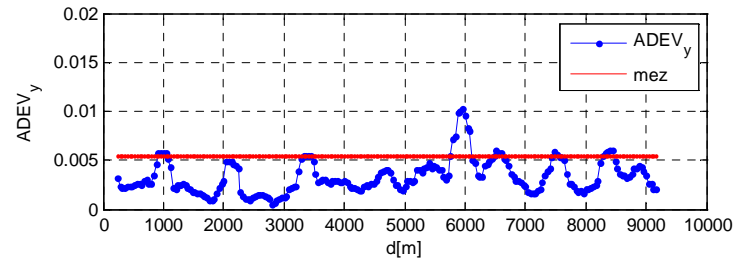
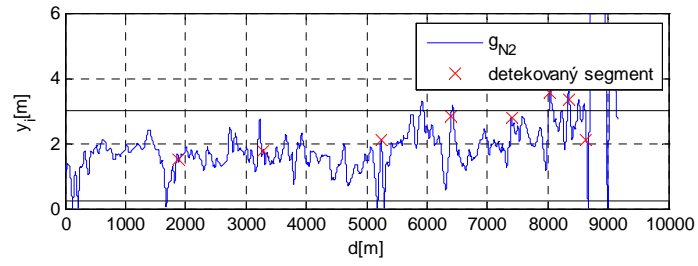
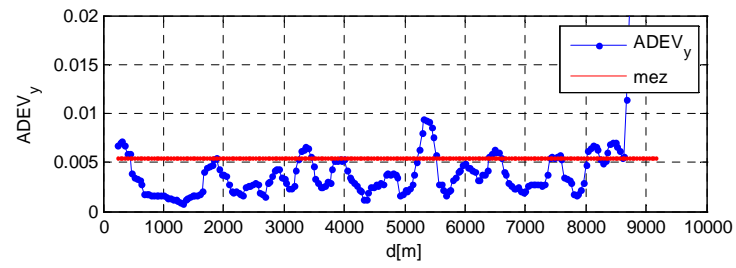
Detekce výjezdů statistickými parametry vybraných trajektorií jízdy:

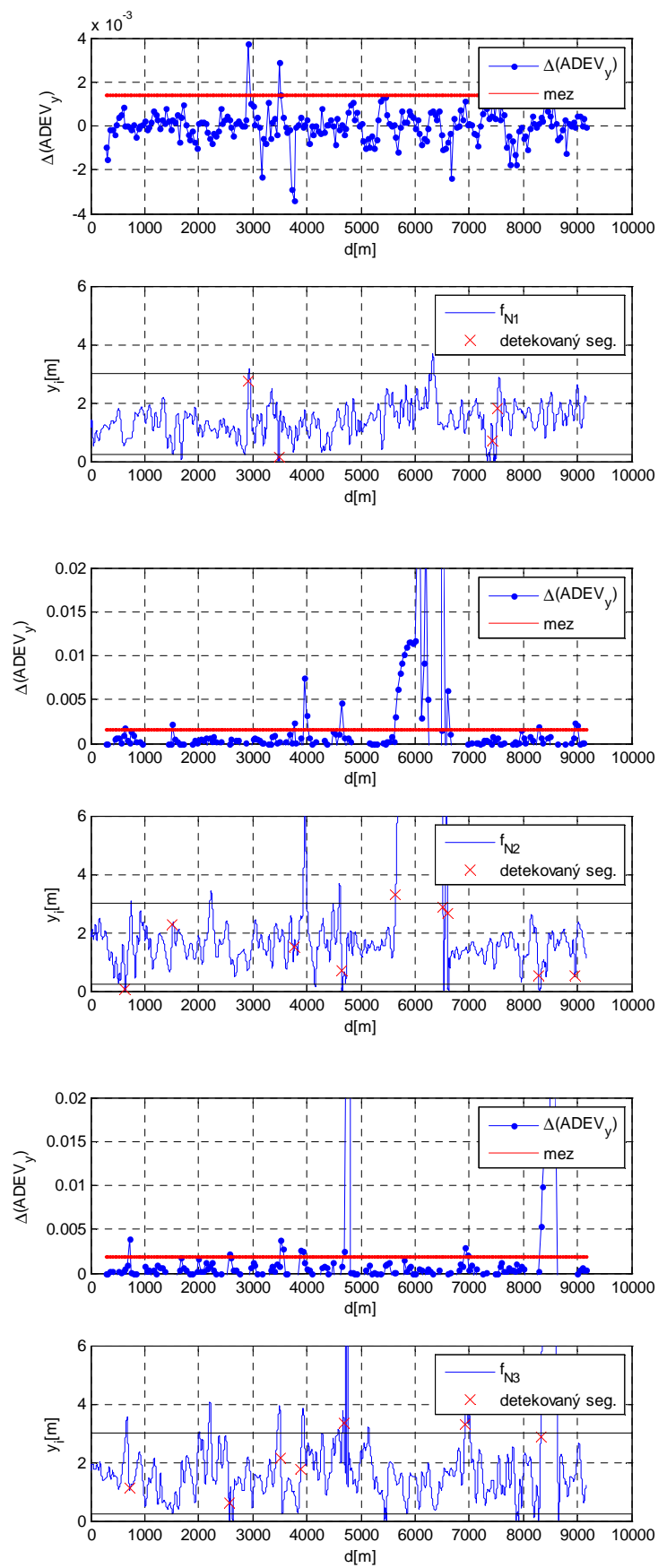


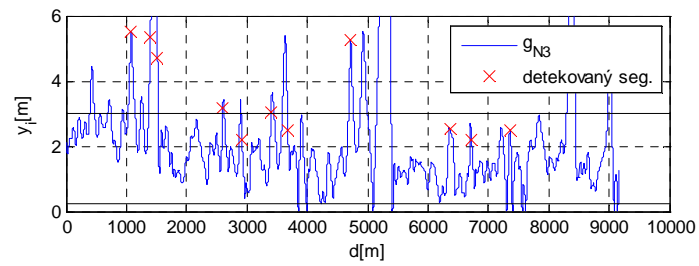
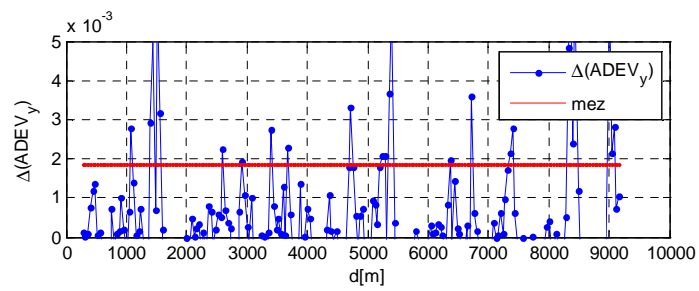
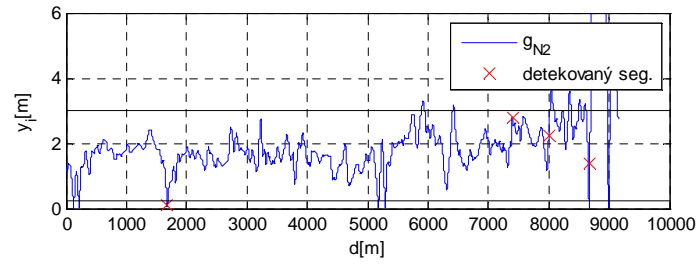
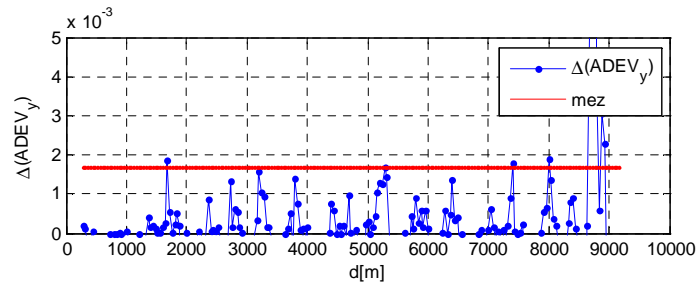
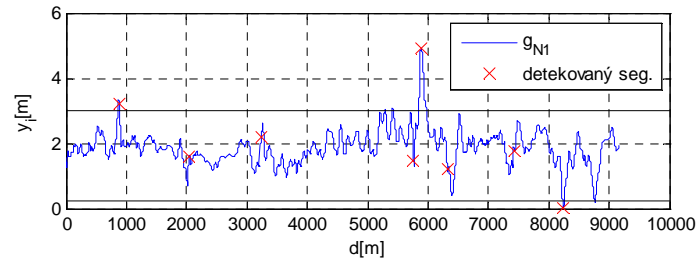
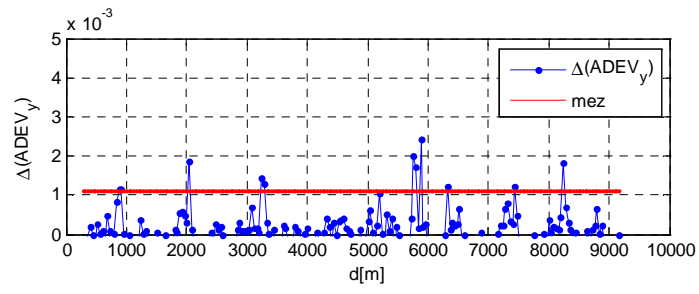




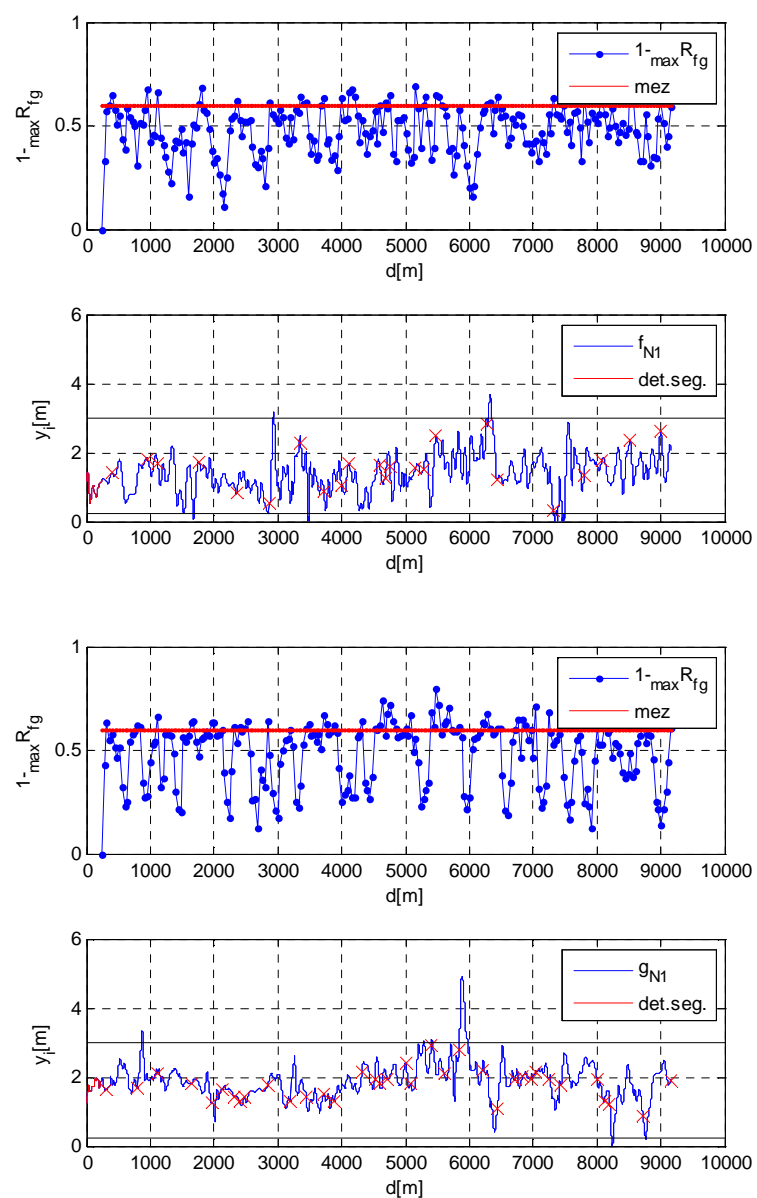








Detekce výjezdů korelačními parametry vybraných trajektorií jízdy:



Detekce výjezdů parametrem výkonu  $P_L$  vybraných trajektorií jízdy:

